

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS AMÉRICAS
VICERRECTORÍA ACADÉMICA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

DISEÑO DEL SISTEMA DE ENERGÍAS RENOVABLES CON
PANELES FOTOVOLTAICOS PARA DIFERENTES MODELOS
DE ESCUELAS EN COSTA RICA

MODALIDAD DE PROYECTO PARA OPTAR POR EL GRADO DE BACHILLERATO EN INGENIERÍA
ELECTROMECAÁNICA

AUTOR

MARLYN BRAVO MEDINA

TUTOR

MSC. ALEJANDRO CERVANTES UMAÑA

SEDE ARANJUEZ
DICIEMBRE, AÑO 2020

Contenido

Dedicatoria y agradecimiento	8
Resumen	9
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	10
Problema	12
Objetivo general	12
Objetivos específicos	12
Justificación	13
Proyecciones	14
CAPÍTULO II: MARCO REFERENCIAL.....	15
Antecedentes	16
Limitaciones	19
Un poco de historia.....	19
Energía solar fotovoltaica.....	20
Radiación solar	20
Irradiancia e irradiación.....	23
Irradiancia	23
Irradiación	24
Constante solar	24
Factores que modifican la irradiancia solar.....	25
Absorción y reflexión	25
Masa de aire entre la atmósfera y la superficie terrestre.....	26
La posición relativa del Sol y la Tierra.....	27
Efecto fotovoltaico	29

Funcionamiento de una celda fotovoltaica	30
Ángulo de inclinación de los paneles solares	30
Ángulo de Acimut	31
Rendimiento de referencia de radiación solar	31
Potencia total requerida en paneles	32
Cálculo de la cantidad de paneles requeridos	33
Panel fotovoltaico Canadian Solar Hiku5 Mono	34
¿Qué es PVGIS?	34
Nómina de centros educativos	35
Sistema de información geográfica del Ministerio de Educación Pública	35
La muestra de una población	35
Fórmula para calcular la muestra de una población	36
Regla de Proporcionalidad Directa	37
Tarifas eléctricas cuarto cuatrimestre 2020	37
Área de las zonas de concesión por operador eléctrico	38
Costo de instalación de sistemas fotovoltaicos.....	39
Costos de producción, operación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos.....	39
Inflación anual 2020	39
Tasa de rentabilidad anual	40
Valor actual neto (VAN)	40
Tasa interna de retorno (TIR)	41
¿Qué es la generación distribuida?	42
Leyes y normas	43
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO	45
Enfoque de la investigación.....	46

Método de la investigación.....	46
Fuentes de información	47
VARIABLES O UNIDADES DE ANÁLISIS	47
Instrumentos	47
Proceso para la recolección y análisis de datos	48
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS	49
Diagnóstico	50
Agrupación de las direcciones regionales de educación en regiones	53
Cantidad de escuelas por Dirección Regional de Educación	55
Cantidad de escuelas y población estudiantil por región.....	56
Datos obtenidos del caso de estudio	57
Cálculo de la muestra de las escuelas por región	58
Cálculo de la proporción de escuelas para cada DRE de la muestra por región	59
Consulta de latitudes y longitudes de las escuelas en SIGMEP	61
Utilización de la herramienta de radiación solar del PVGIS.....	64
Ángulos Acimut por región	66
Creación de subzonas por rangos de irradiación en cada región	68
Cantidad de población estudiantil por subzona en cada región.....	70
Cálculo del consumo diario y mensual promedio por alumno	72
Cálculo de la potencia total requerida en paneles por subzona	73
Cálculo de la cantidad de paneles y área que ocupan.....	74
Cálculo de factura eléctrica mensual en cada subzona por región	75
Resumen de la medición neta sencilla anual de las subzonas de la Región Central	77
Variables requeridas en los cálculos para el análisis financiero.....	78
Cálculos para el análisis financiero	80

Análisis de resultados	92
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	97
Conclusiones.....	98
Recomendaciones	100
CAPÍTULO VI: PROPUESTA.....	101
Propuesta	102
REFERENCIAS	103
APÉNDICES	106
Apéndice A. Ficha técnica del panel CanadianSolar HiKu5 Mono	107
Apéndice B. Recibos Eléctricos Escuela Ascensión Esquivel Ibarra.....	108
Apéndice C. Bitácoras de Atención.....	110

Tablas

Tabla 1. Tarifas Eléctricas Preferenciales de Consumo Social – Cuarto Cuatrimestre 2020	38
Tabla 2. Área de cobertura de las zonas de concesión por operador eléctrico	38
Tabla 3. Inflación de los últimos seis meses del 2020 y el promedio	40
Tabla 4. Agrupación de las direcciones regionales de educación en regiones socioeconómicas.....	54
Tabla 5. Escuelas por Dirección Regional de Educación.....	55
Tabla 6. Escuelas y alumnos por región.....	56
Tabla 7. Recibos del servicio de electricidad 2019 – Escuela Ascensión Esquivel Ibarra	57
Tabla 8. Muestra de escuelas por región	59
Tabla 9. Fracciones de las muestras de escuelas para cada Dirección Regional de Educación	60

Tabla 10. Ángulos Acimut óptimos por rangos de orientación y por región	67
Tabla 11. Datos de la irradiación anual por región	69
Tabla 12. Clasificación de las subzonas por rangos de irradiación	69
Tabla 13. Promedios de la irradiación anual en cada región por subzona	70
Tabla 14. Cantidad de población estudiantil por subzona en cada región.....	71
Tabla 15. Resumen de los cálculos de las ecuaciones 6, 7, 8, 9 y 10, aplicadas en las subzonas de la Región Central	76
Tabla 16. Resumen de la medición neta sencilla anual de las subzonas de la Región Central	77
Tabla 17. Variables por utilizar en el análisis financiero	79
Tabla 18. Resumen del análisis financiero de la Región Central	84
Tabla 19. Resumen del análisis financiero de la Región Chorotega	84
Tabla 20. Resumen del análisis financiero de la Región Pacífico Central	85
Tabla 21. Resumen del análisis financiero de la Región Brunca	85
Tabla 22. Resumen del análisis financiero de la Región Huetar Atlántica	86
Tabla 23. Resumen del análisis financiero de la Región Huetar Norte.....	86
Tabla 24. Tabla resumen de la tasa interna de retorno (TIR) de cada subzona por región	87
Tabla 25. Resumen del valor actual neto (VAN) de cada subzona por región	88

Figuras

Figura 1. Tipos de radiación sobre una superficie.....	22
Figura 2. Radiación solar global incidente en un día despejado y en un día nublado.....	23
Figura 3. Ángulo cenital y su correspondiente valor de masa de aire (AM) para varias alturas solares	26
Figura 4. Ubicación del ángulo cenital (θ)	27

Figura 5. Los movimientos de la Tierra	28
Figura 6. Esquema del efecto fotovoltaico	29
Figura 7. Ángulo de Inclinación y Ángulo de Acimut del Panel Fotovoltaico	31
Figura 8. Ubicación de las Direcciones Regionales de Educación	50
Figura 9. Ubicación de las Escuelas Públicas de Costa Rica	51
Figura 10. Delimitación de la Dirección Regional de Educación San José Central.....	62
Figura 11. Ejemplo de la toma de datos de Latitud y Longitud de la Escuela Calle El Alto DRE San José Central	63
Figura 12. Imagen de la tabla de almacenamiento de los datos de las escuelas.....	63
Figura 13. Imagen del mapa de la aplicación del PVGIS.....	64
Figura 14. Imagen de la aplicación del PVGIS	65
Figura 15. Imagen de los datos proporcionados por la aplicación del PVGIS.....	66
Figura 16. Tabla del análisis financiero de la subzona 3 de la Región Central.....	83
Figura 17. Tabla de retorno de la inversión durante vida útil del panel en cada subzona de la Región Central.....	90

Dedicatoria y agradecimiento

Quiero agradecerle primeramente a Dios, por permitirme cumplir uno de mis sueños de llegar a ser una profesional, por darme todo lo que tengo y lo que soy, y sobre todo por no soltar mi mano cuando más lo necesito.

A mis padres porque con su amor incondicional siempre me impulsaron a seguir adelante con mis estudios, aunque se complicara en algunas ocasiones, y por acompañarme durante muchas madrugadas para hacer una realidad este proyecto.

También quiero agradecerle a mi esposo por su ayuda y su apoyo, por esos recreos que pasamos juntos en la universidad, de los mejores recuerdos que guardo en mi memoria.

A mi hermano porque sé que, aunque no lo demostraba siempre estaba apoyándome.

Y no puedo dejar de lado a mis profesores que estuvieron de principio a fin en mi carrera brindándome conocimiento muy valioso.

A todos ellos les dedico este proyecto porque si faltase alguno, esto no hubiera sido posible de alcanzar. Bendiciones y muchas gracias.

Resumen

El presente proyecto de graduación tiene como objetivo presentar una evaluación de la factibilidad técnica y financiera de implementar sistemas de energía renovable con paneles fotovoltaicos en las escuelas de Costa Rica, creando escenarios que permitan visualizar por cuales localidades es más factible comenzar el plan que se pretende establecer en el nivel de todo el país.

El análisis de las irradiaciones solares y de la parte financiera se realizaron a partir de una muestra representativa de las escuelas, la cual permite dar una visión de lo que se puede esperar en las demás instituciones educativas del territorio nacional.

La posibilidad de generar ahorros importantes en los centros educativos a partir del uso de energías limpias, como lo es la utilización de paneles solares para producir energía eléctrica, es de gran importancia desde un punto de vista del desarrollo social, ya que, permitiría invertir los dineros ahorrados en mejorar las carencias de útiles escolares, tecnología o infraestructura que tengan los centros educativos.

Otro detalle relevante del proyecto es que con el estudio realizado en todo el país y con una factibilidad bastante alta de ser implementado, ayudaría a contribuir con la meta de descarbonización que tienen proyectado en el país, para ser cumplido en el 2050.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Hoy las energías renovables, específicamente las relacionadas con la irradiación del sol y los sistemas de paneles solares fotovoltaicos, han generado gran auge entre las compañías generadoras de electricidad, la población y principalmente en las industrias, en las pequeñas y medianas empresas; tanto para brindar o acceder a electricidad en lugares donde esta no puede ser ofrecida por las compañías generadoras mediante cables, como para reducir la facturación eléctrica de sus instalaciones y sin dejar de lado la protección del Medioambiente, con el nuevo concepto de mejorar o reducir la huella de carbono en el planeta.

Según el Diario de la Energía “El Sol, nuestra fuente básica de energía. La radiación solar interceptada por la Tierra constituye la principal fuente de energía renovable a nuestro alcance. La cantidad de energía solar captada por nuestro planeta es aproximadamente de 4.500 veces la energía que se consume. Estamos ante una realidad difícil de ocultar: la vida en la Tierra se materializa gracias al Sol, y su fuente de energía inagotable” (El Diario de la Energía, 2017).

Apuntando a lo mencionado, en el nivel mundial se han instalado gigantes plantas solares como lo es el Parque Solar del Desierto de Tengger en China con una capacidad de 1.547 MW, el cual se comenzó a construir en 2012, terminaron su construcción a finales de 2015 y se conectó a la red hasta un año después. También se han instalado algunas plantas solares mucho más pequeñas en países de Latinoamérica, por ejemplo, en México la más grande tiene una capacidad de 310 MW, Brasil cuenta con una de 156 MW, Chile tienen una de 146 MW y Guatemala instaló una de 58 MW.

Estas grandes plantas solares requieren de zonas muy espaciosas situación que en nuestro país no es tan viable, por lo cual, según (Bellini, 2018) de la revista PV-Magazine; en Costa Rica la potencia instalada alcanza unos 27 MW, de los cuales, 15 MW son por instalaciones de generación distribuida para autoconsumo, unos 6 MW pertenecen a un programa piloto del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) y otros 6 MW representados por dos parques solares de 1 MW (Miravalles) y 5 MW (Juanilama) que también son propiedad del ICE y quien tiene como proyecto piloto las instalaciones residenciales, comerciales e industrias.

Como en Costa Rica el uso de la energía solar fotovoltaica está más orientado a la generación distribuida para autoconsumo, sería viable aprovechar los sistemas solares fotovoltaicos en los centros educativos, quienes se beneficiarían por el ahorro de la facturación eléctrica. Además, contribuirían con la meta del cumplimiento del Plan Nacional de Descarbonización que tiene el país para el 2050.

Problema

¿Cuál es el resultado de evaluar la factibilidad, técnica y financiera, de incorporar sistemas de energía renovable con paneles fotovoltaicos en las escuelas de Costa Rica?

Objetivo general

Evaluar la factibilidad, técnica y financiera, de incorporar sistemas de energía renovable con paneles fotovoltaicos en las escuelas de Costa Rica.

Objetivos específicos

1. Analizar geográficamente la delimitación de las Direcciones Regionales de Educación, de los centros educativos, que utiliza el Ministerio de Educación Pública, con el fin de determinar la viabilidad de agrupar las direcciones, en las regiones socioeconómicas de Costa Rica, para un estudio más adecuado de las irradiaciones del territorio nacional.
2. Reunir información de la cantidad de escuelas del país, cantidad de estudiantes por institución, y al menos los recibos eléctricos y consumos de energía que tuvo una escuela, durante el año anterior, con el fin de caracterizar la infraestructura educativa costarricense.
3. Calcular una muestra de escuelas por Región que sea representativa para poder generalizar los resultados obtenidos a todos los centros educativos de grado escolar del país, y calcular cuantas escuelas de esa muestra, le corresponde a cada Dirección Regional de Educación para el estudio en cuestión.
4. Obtener las irradiaciones solares anuales de las distintas ubicaciones de las escuelas elegidas como muestra de cada Región.
5. Establecer escenarios tomando como característica principal las irradiaciones solares anuales obtenidas de las muestras de las escuelas por Región.
6. Determinar si es viable instalar los paneles requeridos en cada escenario de irradiación solar, considerando las dimensiones mínimas de los salones de clases, como el área utilizable en los techos de las aulas.

7. Elaborar un análisis financiero que demuestre si es factible económicamente o no, el uso de paneles solares en las escuelas de Costa Rica.

Justificación

La finalidad de este proyecto es evaluar la factibilidad técnica y financiera de instalar sistemas de energía renovable de tipo solar fotovoltaico, en las escuelas de Costa Rica, el cual sea ejecutable para instituciones de varios tamaños y que contribuya con la disminución de la factura eléctrica de los centros educativos que cuentan con energía, pero que tienen altos consumos. Además, que sirva para dotar de electricidad a las escuelas que no cuentan con ella.

El dinero ahorrado por la disminución de las facturas eléctricas que tendrían las escuelas podría servirles para suplir las carencias y necesidades tecnológicas y de infraestructura, que hay en algunas instituciones por la falta de presupuesto para estas partidas, lo cual, brindaría mayor equidad educativa en el nivel nacional. Dicho dinero también podría ser utilizado para la compra de suministros escolares, para las becas estudiantiles y para la alimentación diaria de los alumnos quienes, en ocasiones por su situación económica, llegan a recibir lecciones sin haber comido.

Según la Ley de Presupuesto Ejercicio Económico 2020, en lo correspondiente al Ministerio de Educación, en 2018 se gastaron 467.592.283 colones en servicios de energía eléctrica, para 2019 se presupuestaron 530.003.584 colones y para 2020 se asignaron 589.067.334 colones. Estas cifras son bastante elevadas y con este proyecto se pretenden disminuir para darle un uso más favorable a los montos ahorrados en cada institución que se implemente el sistema.

El análisis procurará generar estándares que sean fácilmente replicables y ampliables a otras escuelas de distintos tamaños o cantidades de aulas, ya que, según la Dirección de Infraestructura y Equipamiento Educativo del Ministerio de Educación Pública de Costa Rica, existe un lineamiento por seguir para las dimensiones y diseños de las aulas, y con esto también administran la cantidad de alumnos por edificación, lo que haría un poco más sencillo generalizar la evaluación por cantidad de aulas y de alumnos que tenga el centro educativo.

Además, los cálculos se trabajarán considerando que el sistema es conectado a la red para escuelas que cuentan con electricidad en sus instalaciones y que brindan lecciones en horarios diurnos y nocturnos; y para las escuelas que no cuentan con energía eléctrica se espera que la

investigación funcione de igual forma, ya que en dichas edificaciones normalmente las lecciones se imparten en el horario diurno, donde el sol permite generar electricidad.

Proyecciones

Este proyecto pretende dar una evaluación en el nivel país, de la factibilidad técnica y financiera de implementar sistemas de energía renovable con paneles fotovoltaicos en las escuelas de Costa Rica. Primeramente, se agrupará la actual división de las instituciones, como lo son las Direcciones Regionales de Educación, en las Regiones Socioeconómicas del país, para visualizar mejor la ubicación de las escuelas y así presentar los resultados de una forma más adecuada.

Se espera recolectar información de varias escuelas que ayuden a fundamentar el estudio en términos de las características de los centros educativos según las dimensiones de su infraestructura, ya sea, por los diseños anteriores o según los modelos que actualmente se recomiendan; además de identificarlas por consumo eléctrico mensual, por cantidad de población estudiantil y tipos de escuelas.

El estudio se efectuará con una muestra representativa de las escuelas que existen en el territorio costarricense. Se tiene como expectativa que el cálculo de dicha muestra sea lo suficientemente acertado, en cantidad de escuelas, para abarcar las distintas características que pueden tener los centros educativos y así generar una estadística probable de lo que se puede esperar, en las escuelas restantes, con los resultados obtenidos.

Se estima que los valores de las irradiaciones anuales, que se obtendrán de la ubicación de los centros educativos, sean similares en cada Región del País, para poder crear escenarios utilizando esta clasificación; de no ser así, será necesario reorganizar las escuelas en otra categorización que esté basada en rangos de irradiación anual.

Utilizando las irradiaciones de cada sitio donde existen escuelas y eligiendo un tipo de panel solar, se proyecta calcular la cantidad de paneles fotovoltaicos requeridos para suplir la demanda eléctrica de los centros educativos y que será necesaria para realizar un análisis financiero que permita determinar la factibilidad de instalar paneles en las escuelas.

Se hará entrega de la memoria de cálculo en formato digital, que contenga todos los procesamientos de datos efectuados, además de tablas y gráficos que detallen mejor lo evaluado y el análisis financiero del proyecto para cada escenario establecido en el proceso.

CAPÍTULO II: MARCO REFERENCIAL

Antecedentes

Institución: Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura

Título: Programa Piloto de Luces para Aprender 2011 -2016, Logros y Retos

Autores: Leire Iriarte, Lucila Izquierdo, Beatriz Maroto, Luis Paradinas, Eustasio de Hoyos y Kristin Dietrich de la Fundación Energía sin Fronteras

Año: 2016

Este programa es una iniciativa por parte de Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura (OEI), para mejorar la calidad y la equidad de la educación de las escuelas que no cuentan con acceso a energía eléctrica y por ende a tecnología, en los países Iberoamericanos; este proyecto se realiza utilizando sistemas renovables de energía solar fotovoltaica. El plan piloto que están llevando a cabo, se ha logrado implementar en la mayoría de los países participantes. Sin embargo; en algunos de ellos se continúa en negociaciones e identificación de las escuelas que requieran del programa y con las que se pueda hacer alianzas.

El informe de este programa está basado en los países que ha sido posible implementar el proyecto hasta julio de 2016, en este se indican detalles de las disposiciones generales que han sido posibles acatar y algunas particularidades de cada país, como diseño, tramitología, ejecución, aspectos sociales, económicos, la creación de alianzas con instituciones para la instalación, el fortalecimiento y mantenimiento de los equipos, para la capacitación del personal docente y de la comunidad en general para su aceptación y colaboración.

Entre los requerimientos del proyecto se encuentra una lista detallada de los equipos que se alimentarán con el sistema renovable de energía solar fotovoltaico en las distintas escuelas y de algunas cargas que serán conectadas esporádicamente; además, se indica el tiempo aproximado que dichas cargas estarán conectadas al sistema de paneles solares, lo cual servirá como guía para poder definir las cargas que se calcularán en los diferentes escenarios que se pretenden crear para los centros educativos de grado escolar de este país.

También en el informe del Programa Piloto “Luces para Aprender” se comenta de algunos aspectos que van a ser tomados en consideración para el diseño del presupuesto de los distintos

escenarios a establecer para el desarrollo de este proyecto, como lo es el tipo de equipo, sus dimensiones, el tiempo de vida útil, el mantenimiento por garantía y el mantenimiento a largo plazo fuera de la garantía.

Institución: Escuela de Organización Industrial.

Título: Resumen Ejecutivo de Suministro de energía eléctrica mediante paneles solares a escuelas de nivel básico rurales de República Dominicana.

Autores: Nicole Franchesca De Dios Abad, Víctor Miguel Cruz Olivo y Dalton Angomás Adames de República Dominicana, Raúl Ernesto Rodríguez Guillén de Suiza, Mario Sebastián Morán Rubiano y Sebastián Guzmán Díaz de Colombia.

Año: Curso 2017/2018

Este resumen ejecutivo, sobre el suministro de energía eléctrica mediante paneles solares a escuelas de nivel básico rurales en República Dominicana, establece la metodología a seguir para suplir de electricidad a los centros educativos que se encuentran aislados de la red comercial de ese país. Adicionalmente, se menciona que las instalaciones escolares se les da otros usos, cumpliendo funciones como centros comunitarios para situaciones de emergencia, jornadas de salud, reuniones, votaciones presidenciales y regionales, eventos deportivos, entre otras; debido a esto el uso de la energía eléctrica en esas edificaciones no se orientó, sólo a los días y el horario escolar, sino que fue necesario tomar en cuenta un uso diario tanto en el día como en la noche.

Como paso inicial, hicieron visitas a las localidades primordiales de la República Dominicana, eligiendo así las escuelas para las cuales se realizaría el estudio. Luego continuaron con la definición de la radiación solar aproximada de los sitios donde se ubican estos centros educativos; esto lograron limitarlo, escogiendo un punto medio de la comparación que ejecutaron entre el estudio llamado “Consultoría para la Identificación y Evaluación de Proyectos de Electrificación Rural Sostenible en República Dominicana” de Humberto Rodríguez M. en 2009 y la base de datos de la NASA con registro de los últimos 20 años de 1998 a 2018.

Cuando ya tenían el detalle de las radiaciones solares de cada lugar, procedieron a la estimación del consumo eléctrico que tendrían estas escuelas, para dicha estimación se basaron en

los distintos consumos que tienen los centros educativos que cuentan con condiciones similares en dimensiones de las edificaciones, cantidad de alumnos y ubicación geográfica. Con estos datos lograron definir 3 modelos o escenarios representativos de las escuelas, la clasificación se dio de la siguiente forma: consumos menores o iguales a 3.000 kWh/año serían escuelas pequeñas o de bajo consumo, entre 3.000 kWh/año y 10.000 kWh/año son escuelas medianas o de consumo medio y las escuelas grandes o de altos consumo estarían entre el rango de 10.000 kWh/año y 20.000 kWh/año, si superaban este consumo no estaban incluidas en ese estudio.

Este estudio realizado en República Dominicana tenía como objetivo final el montaje del cartel para la licitación del proyecto, lo cual fue más fácil de establecer a partir de los 3 modelos con los que se definieron las características de los paneles, inversores, reguladores y baterías de modo que sólo tuvieran que aumentarse las cantidades según el consumo de cada escuela.

Institución: Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Costa Rica.

Título: Evaluación técnica de paneles fotovoltaicos disponibles en el mercado costarricense, para colaborar con el proyecto Manantial Atmosférico de la Vicerrectoría de Acción Social.

Autor: Jose Francisco Vargas Chaves.

Año: 2015

Este estudio tenía como objetivo final brindar una solución alternativa de energía eléctrica, mediante un sistema de energía renovable con paneles fotovoltaicos, al proyecto Manantial Atmosférico de la Vicerrectoría de Acción Social, el cual pretende alimentar las placas termoeléctricas que ayudan a obtener agua potable a partir de la humedad de la atmósfera, en la Isla Caballo del Golfo de Nicoya en Puntarenas.

Para diseñar la solución alternativa de energía eléctrica, dieron inicio con la investigación en el mercado costarricense sobre paneles fotovoltaicos ofrecidos en el país, solicitaron el envío de cotizaciones y las características técnicas y físicas de todos los equipos que conforman el sistema de paneles fotovoltaicos. Cuando terminaron de recolectar toda la información analizaron las especificaciones de cada fabricante, como las características eléctricas, el desempeño y depreciación del rendimiento de los paneles solares a través del tiempo y llegaron a la conclusión,

que la mayoría de las marcas que ofrecen las empresas tienen similares características eléctricas, rendimiento y vida útil y las que contaban con ventajas físicas de instalación tenían una considerable baja en la capacidad de corriente suministrada.

Adicional al diseño del sistema fotovoltaico, realizaron una serie de recomendaciones sobre seguridad tanto para el usuario como para el equipo, y especificaciones de la operación y el mantenimiento que se le debe dar a los dispositivos del sistema para que su vida útil no se reduzca.

Limitaciones

En el transcurso de la ejecución del proyecto, se presentaron muchas limitantes para acceder a la información de los centros educativos, debido a que las personas comenzaron a tener labores de teletrabajo y se dificultó contactarlos.

Un poco de historia

(Fernández Barrera, 2010) refiriéndose a los inicios del efecto fotovoltaico menciona que: El efecto fotovoltaico se descubrió por primera vez en 1839 por el físico francés Alexandre-Edmond Becquerel. Sus estudios fueron fundamentales para el desarrollo del aprovechamiento de la energía fotovoltaica.

En 1883 el inventor norteamericano Charles Fritts construyó la primera celda solar con una pequeña eficiencia del 1 %. La construyó usando como semiconductor el Selenio con una muy delgada capa de oro, su coste era muy elevado al usar oro en su fabricación, por lo que esta celda se utilizó para usos diferentes a la generación de electricidad, se empleó para sensores de luz en la exposición de cámaras fotográficas. (p.9)

De acuerdo con (Grupo de Nuevas Actividades Profesionales, 2007):

Aunque ya en el siglo XIX se descubrió el efecto fotovoltaico (Becquerel, 1839) y se hicieron dispositivos funcionando con selenio (Fritts, 1883), el primer dispositivo funcional, una célula de silicio de unión *pn* del 6 % de eficiencia no fue realizado hasta 1954 en los laboratorios *Bell* (USA). El mismo año en laboratorios de la fuerza aérea se obtuvo una célula de heterounión $\text{Cu}_2\text{S}/\text{SCd}$ también del 6 %.

En 1960 varios autores, entre los que se incluye el premio Nobel Schock, desarrollaron la teoría fundamental de la célula solar en todos sus aspectos más relevantes: Materiales, espectro de la radiación, temperatura, termodinámica y eficiencia. Las células solares fueron empleadas por rusos y americanos en sus satélites demostrando su fiabilidad.

Mientras las compañías en Europa y América iban mejorando sus procesos de fabricación y aumentando su capacidad de producción, la Industria japonesa despegó en la producción de módulos convencionales de silicio cristalino, así como en la fabricación de células de a-Si para aplicaciones a pequeña escala (relojes, calculadoras, juguetes, etc.) que llegaron al nivel de megavatios en el mercado mundial. (pp.3-4)

Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es la conversión directa en energía eléctrica de la energía contenida en la radiación solar, sin necesidad de ningún proceso intermedio y, por tanto, sin producir humos, ni ruidos.

La radiación solar que incide sobre la superficie de la Tierra está formada por partículas dotadas de energía, pero carentes de masa, que se llaman fotones. Cada fotón es una partícula que constituye una forma de energía. (Colmenar Santos, Borge Diez, Collado Fernández, & Castro Gil, 2015, pág. 37)

Dentro de las diferentes variantes de utilización de la energía solar, la fotovoltaica es la única que se convierte directamente en electricidad, sin utilizar agua, es versátil, silenciosa, se instala fácilmente, incluso por partes, generando energía renovable inmediatamente y en la actualidad tiene poco riesgo tecnológico. (Poggi Varaldo, Martínez Reyes, Pineda Cruz, & Caffarel Méndez, 2009, pág. 5)

Radiación solar

“La energía proveniente del sol, se denomina energía solar, aunque se conoce como radiación solar” (Pareja Aparicio, 2010, pág. 14)

La energía irradiada se cuantifica sobre un área dada. En el caso de la energía solar, denominaremos la energía irradiada, radiación solar (H).

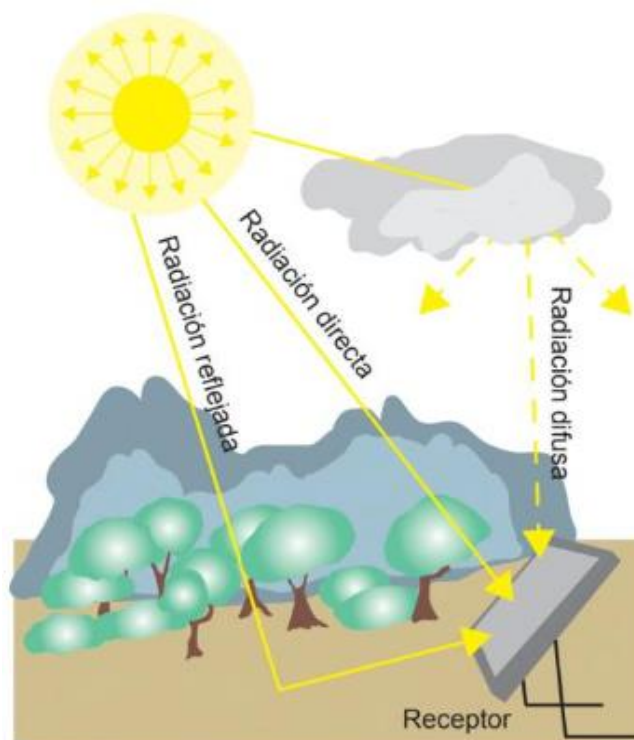
Nótese que, dado que el Sol está constantemente irradiando energía, la radiación solar en un área será siempre creciente; esto es, conforme avance el tiempo existirá cada vez más energía. Es por ello por lo que la radiación solar en un sitio dado se suele dar en un período de tiempo dado, normalmente, diario, mensual o anual. La radiación solar (H) se mide en Wh/m² o J/m². (SESLab, 2015)

De la radiación solar se diferencian tres tipos, esto debido a la forma en que llegan a incidir sobre la Tierra los rayos del sol:

- Radiación Directa: proviene directamente del sol y se caracteriza por proyectar una sombra definida de los objetos opacos en los que incide. Este tipo de radiación es inferior cuanto más nublado sea el día.
- Radiación Difusa: proviene de la atmósfera, debido a la dispersión de parte de la radiación solar en ella, y se dirige en todas las direcciones. Si no existen nubes, este tipo de radiación suele ser del 15 % de la radiación global, pero en días nublados alcanza valores superiores al 50 %.
- Radiación reflejada o de albedo: procede de la superficie terrestre y otros objetos, debido a la reflexión de la radiación solar sobre el terreno, lagos, etcétera. La cantidad de esta radiación depende de la capacidad de una superficie para reflejar la radiación solar. Dicha capacidad se mide con el coeficiente de reflexión de esa superficie o «albedo».

Se conoce como radiación solar global sobre una superficie a la suma de las radiaciones directa, difusa y reflejada, y es la que nos interesa conocer. (Cantos Serrano, 2016)

Figura 1. Tipos de radiación sobre una superficie

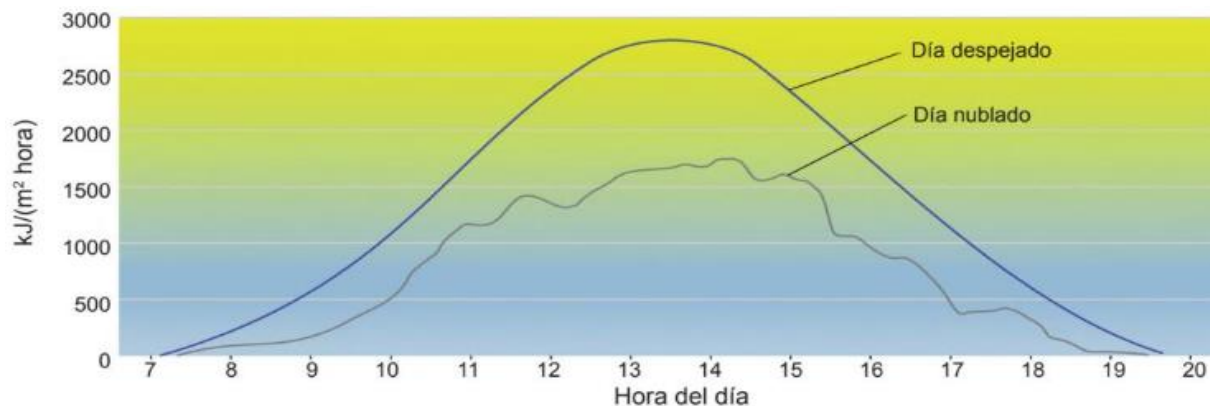


Nota. Tomado de *Configuración de instalaciones solares fotovoltaicas* (p.12), por Julián Cantos Serrano, 2016, Ediciones Paraninfo.

La radiación solar que llega a la superficie terrestre no es constante, sino que depende de las siguientes variaciones:

- Variaciones imprevisibles, como por ejemplo, la nubosidad.
- Variaciones previsibles, como el día y la noche, los cambios estacionales y lo debidos al movimiento de la Tierra. (Cantos Serrano, 2016)

Figura 2. Radiación solar global incidente en un día despejado y en un día nublado



Nota. Tomado de *Configuración de instalaciones solares fotovoltaicas* (p.12), por Julián Cantos Serrano, 2016, Ediciones Paraninfo.

Irradiancia e irradiación

Cuando se habla de energía solar para uso fotovoltaico, es necesario aclarar el significado de dos términos muy similares, como lo son la Irradiancia y la Irradiación, por lo que según (Cantos Serrano, 2016) se definen de la siguiente forma:

Irradiancia

La irradiancia es una medida de la potencia solar incidente por unidad de superficie, cuantificando la intensidad de la radiación y midiéndose en W/m^2 o en algún otro múltiplo de esta unidad (por ejemplo, kW/m^2).

La irradiancia procedente del sol se ve reducida a su paso por la atmósfera, de forma que a la superficie terrestre llegan aproximadamente $1000 W/m^2$ si el cielo está despejado, dato normalizado que ese utiliza para definir los parámetros nominales de los módulos fotovoltaicos.

Se utiliza la letra G , sin subíndice, para designar la irradiancia global. Entre paréntesis, se indica la orientación (α) y la inclinación (β) de la superficie. Si el acimut es cero, solamente debe indicarse la inclinación. Por ejemplo:

- $G (-15,30)$: irradiancia global sobre una superficie con acimut 15° (este) y con una inclinación de 30° .
- $G (0)$: irradiancia global sobre una superficie horizontal.

Irradiación

La irradiación es la energía solar que recibe una unidad de superficie en un tiempo determinado.

Es decir, se obtiene integrando o sumando las irradiancias que se presentan durante ese periodo de tiempo considerado. Se mide en $W\cdot h/m^2$ o en algún otro múltiplo (por ejemplo, $kW\cdot h/m^2$).

Para designar la irradiación global, utilizamos la letra G con uno o dos subíndices. El primer subíndice indica el periodo de tiempo de integración de la irradiación, que puede ser horario (h), diario (d), mensual (m) o anual (a). El segundo subíndice hace referencia al valor medio mensual (m) o anual (a). Por ejemplo:

- $G_{dm} (10,40)$: valor medio mensual de la irradiación global diaria sobre una superficie con acimut 10° (oeste) y con una inclinación de 40° .
- $G_a (30)$: irradiación global anual sobre una superficie inclinada 30° y con acimut cero. (p.13)

Constante solar

Se denota como B_0 y es la irradiancia que recibe una superficie perpendicular al sol en el exterior de la atmósfera. Su valor es de unos $1367 W/m^2$. La irradiancia terrestre que reciben las placas fotovoltaicas se verá mermada por las variaciones de día/noche, presencia de nubes, ángulo de inclinación, orientación y suciedad. (Alonso Lorenzo, 2019)

Debido a los efectos de atenuación que se producen en la atmósfera, la constante solar para efectos de cálculo se tendrá en cuenta en la superficie terrestre, dependiente de diversos factores: nubes, vapor, horas de sol, etc.

Por lo que se considera un valor de 1 kilovatio por metro cuadrado (kW/m^2) para el valor de constante solar. Por ello este valor se tomará para determinar las características de los sistemas captadores de energía, por ejemplo, los módulos fotovoltaicos para energía solar fotovoltaica se muestran para una radiación solar de 1000 vatios por metro cuadrado (W/m^2).

(Pareja Aparicio, 2010)

Factores que modifican la irradiancia solar

Absorción y reflexión

Además de la radiación directa, difusa y de albedo, es necesario que tener en cuenta que cuando los rayos solares no inciden perpendicularmente sobre las células fotovoltaicas, se producen pérdidas por reflexión y absorción en las capas anteriores a la célula, como el vidrio, encapsulante y capa antirreflexiva. También es necesario tener en cuenta las pérdidas por suciedad y los efectos espectrales, ya que las células solares responden selectivamente a los fotones de la luz incidente, es decir; para cada longitud de onda de la radiación solar incidente, generan una corriente determinada. (Alonso Lorenzo, 2019)

Entre la atmósfera y la superficie terrestre existen varios elementos que absorben o reflejan la radiación solar.

La mayoría de los gases atmosféricos, como por ejemplo el oxígeno y el nitrógeno, son transparentes a la radiación solar incidente. No obstante, el vapor de agua, el dióxido de carbono, el metano y otros gases similares absorben parte de la energía proveniente del Sol.

Así mismo, también la atmósfera es responsable por la reflexión hacia el espacio de un porcentaje de la irradiancia incidente. De esta forma, en promedio llega a la superficie terrestre el 70 % de irradiancia que se obtiene en la atmósfera. (SESLab, 2015)

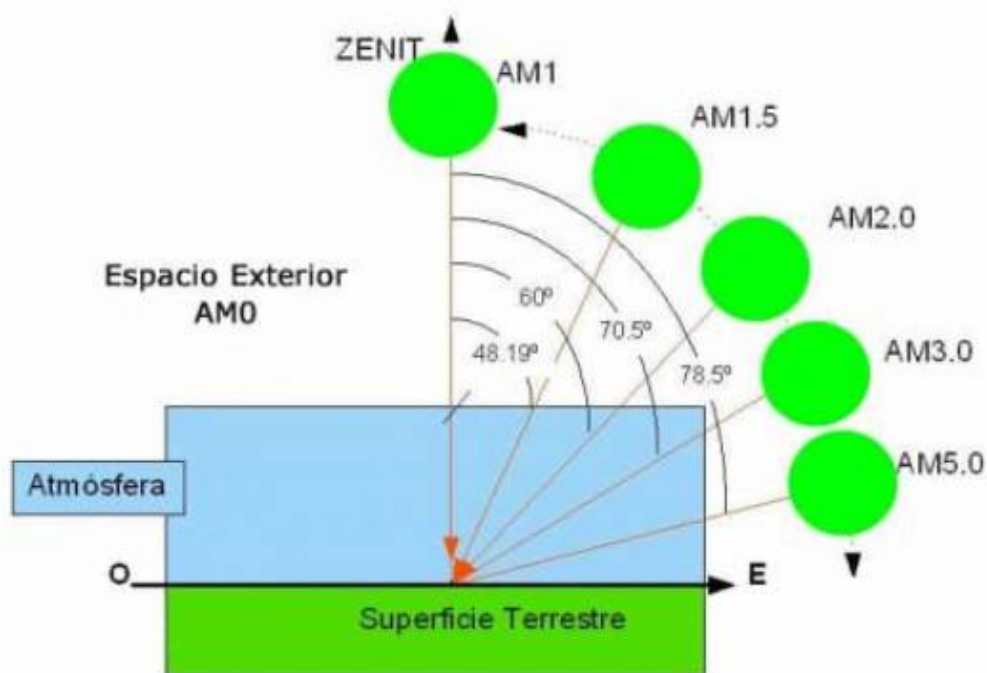
Masa de aire entre la atmósfera y la superficie terrestre

Masa de aire es una medida indicativa de espesor de la atmósfera que ha tenido que recorrer la radiación antes de llegar a la superficie terrestre. El acrónimo más utilizado para la masa de aire es AM por sus siglas en inglés (“Air Mass”).

Esta distancia variará con la altura solar, de modo que cuando la altura solar sea 90° (incida totalmente vertical al lugar) tendremos $AM=1$. Fuera de la atmósfera se tiene $AM=0$.

Al disminuir la altura solar aumentará el espesor de aire que tendrá que atravesar la radiación, disminuyendo la cantidad de energía que finalmente llega a la superficie de la Tierra. (SESLab, 2015)

Figura 3. Ángulo cenital y su correspondiente valor de masa de aire (AM) para varias alturas solares



Nota. Tomado de *Radiación, Geometría, Recorrido óptico, Irradiancia y HSP*, por José Alfonso Alonso Lorenzo, 2019, SunFields Europe (<https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/energia-fotovoltaica-radiacion-geometria-recorrido-optico-irradiancia-y-hsp/>).

La masa de aire cuantifica la reducción en la potencia de la luz a medida que pasa a través de la atmósfera y es absorbido por el aire y el polvo. La masa de aire se define como:

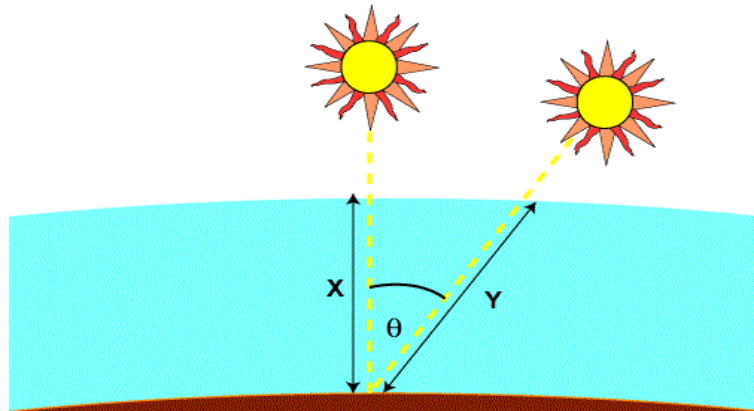
Fórmula 1

Masa de Aire

$$AM = \frac{1}{\cos(\theta)}$$

Dónde θ es el ángulo de la vertical (ángulo cenital). Cuando el sol está directamente vertical, la masa de aire es 1. (Honsberg & Bowden, 2019)

Figura 4. *Ubicación del ángulo cenital (θ)*



Nota. Tomado de *Propiedades de la luz del sol, Masa de aire*, por Christiana Honsberg y Stuart Bowden, 2019, PVEducation (<https://www.pveducation.org/es/fotovoltaica/2-propiedades-de-la-luz-del-sol/masa-de-aire>).

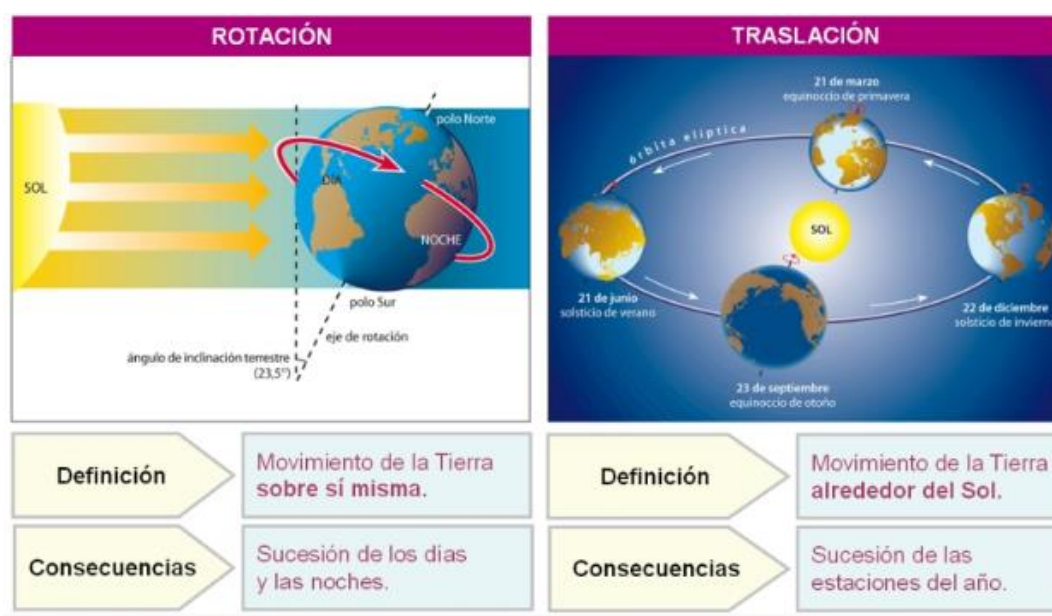
La posición relativa del Sol y la Tierra

La posición relativa entre el Sol y la Tierra también determina la cantidad de radiación solar que se tiene durante el año. Esto (...) es más relevante en lugares de la Tierra que se encuentran lejos de la línea ecuatorial. (SESLab, 2015)

La Tierra realiza un movimiento de rotación a través de su eje, el cual marca la alternancia entre los días y las noches y tiene una duración aproximada de 24 horas. El eje de giro tiene una inclinación de $23,5^\circ$ respecto del plano de traslación.

A su vez, también realiza el movimiento de traslación, en una trayectoria elíptica en torno al Sol. Al ser dicha trayectoria elíptica, la distancia entre el Sol y la Tierra varía, dando lugar a épocas en las cuales llega mayor irradiancia sobre la superficie terrestre que en otras.

Figura 5. Los movimientos de la Tierra



Nota. Tomado de *Especialización en Sistemas Fotovoltaicos – La posición relativa del Sol y la Tierra*, por Laboratorio de Sistemas Electrónicos para la Sostenibilidad, 2015, SESLab (http://seslab.org/fotovoltaico/33_la_posicin_relativa_del_sol_y_la_tierra.html).

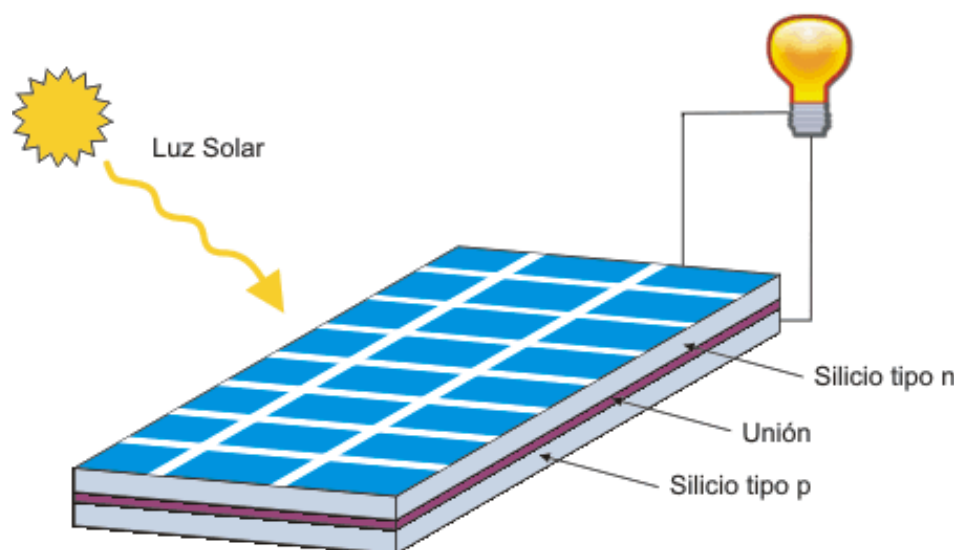
Estos movimientos influyen en las características del clima y en la distinta duración del día y la noche en un mismo lugar en distintos días del año, y entre distintos puntos de la Tierra el mismo día. Esto será fundamental para determinar el potencial y los lugares óptimos para instalaciones de aprovechamiento solar. (SESLab, 2015)

Efecto fotovoltaico

La energía solar fotovoltaica se basa en la utilización de células solares o fotovoltaicas, fabricadas con materiales semiconductores cristalinos que, por efecto fotovoltaico, generan corriente eléctrica cuando incide la radiación solar. El silicio es la base de la mayoría de los materiales más ampliamente utilizados en el mundo para la construcción de células solares. (Colmenar Santos, Borge Diez, Collado Fernández, & Castro Gil, 2015, pág. 39)

El efecto fotovoltaico se produce cuando el material de la celda solar (silicio u otro material semiconductor) absorbe parte de los fotones del sol. El fotón absorbido libera a un electrón que se encuentra en el interior de la celda. Ambos lados de la celda están conectados por un cable eléctrico, así que se genera una corriente eléctrica. (Orbegozo & Arivilca, 2010, pág. 11)

Figura 6. Esquema del efecto fotovoltaico



Nota. Tomado de *Energía Solar Fotovoltaica Manual técnico para instalaciones domiciliarias* (p.11), por Orbegozo & Arivilca, 2010, Green Energy Consultoría y Servicios SRL.

Funcionamiento de una celda fotovoltaica

Según (Iluminet, 2016) el funcionamiento de las celdas fotovoltaicas se explica de la siguiente forma:

Estos dispositivos están hechos de dos tipos de materiales semiconductores, uno de carga positiva (p) y otro de carga negativa (n). Cuando son expuestos a la luz permiten que un fotón de la luz solar “arranque” un electrón, el electrón libre deja un “hueco” que será llenado por otro electrón que a su vez fue arrancado de su propio átomo.

El trabajo de la celda es provocar que los electrones libres vayan de un material semiconductor a otro en busca de un “hueco” que llenar. Esto produce una diferencia de potencial y por tanto una corriente eléctrica, es decir, que se producirá un flujo de electricidad del punto de mayor potencial al de menor potencial hasta que en los dos puntos el potencial sea el mismo.

La eficiencia de una celda o un panel tiene que ver con varios factores, uno de ellos, por supuesto, es el material semiconductor que elija el fabricante. Además, tiene gran importancia qué porcentaje de la luz del sol que llega hasta la celda es reflejada por ella y desaprovechada. Tan relevante es este factor de reflexión que se han desarrollado recubrimientos especiales capaces de absorber la luz de manera uniforme independientemente del ángulo del panel con respecto al sol.

Ángulo de inclinación de los paneles solares

El ángulo de inclinación es el ángulo que forman las placas solares con respecto a la horizontal del lugar. Este ángulo depende, principalmente, de la latitud de la ubicación y de la época del año. De esta forma, a mayor latitud, mayor inclinación necesaria para optimizar la producción. Del mismo modo, en invierno se necesita mayor inclinación que en verano.

Para calcular el ángulo de inclinación (β) suele utilizarse una ecuación que proporciona resultados bastantes acertados en función de la latitud del lugar (L). (Aprende Ciencia y Tecnología, 2019)

Fórmula 2

Cálculo del Ángulo de Inclinación

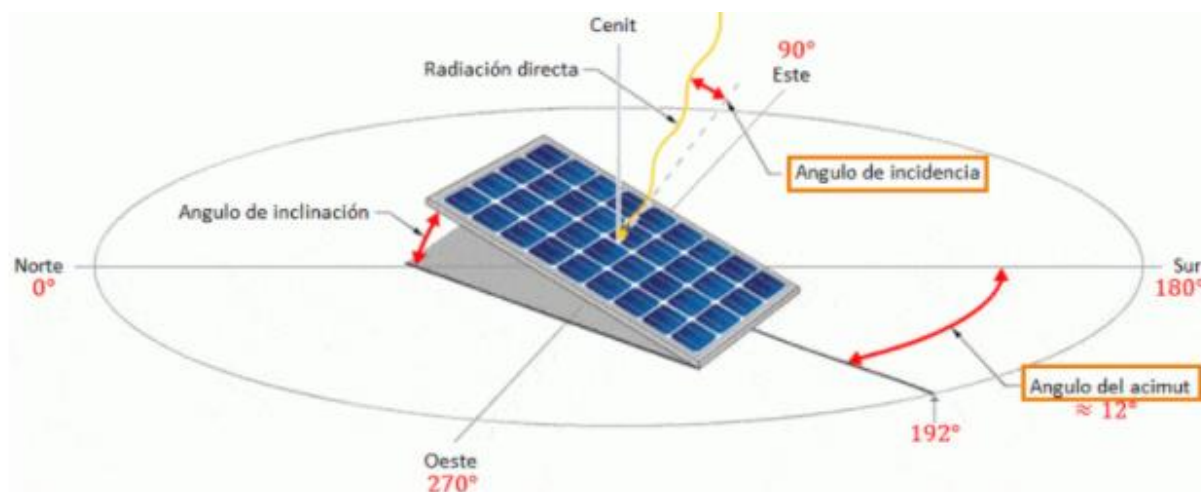
$$b = 3,7 + 0,69 * L$$

Ángulo de Acimut

El otro parámetro que determina la eficiencia en la producción de energía fotovoltaica es el ángulo de acimut, el cual se define como el ángulo que forma la proyección sobre el plano horizontal de la perpendicular a la superficie del módulo con el meridiano del lugar.

Si el ángulo está formado entre el sur geográfico y el oeste, el valor será positivo. Sin embargo; si el ángulo está formado entre el sur geográfico y el este, el valor será negativo. (Aprende Ciencia y Tecnología, 2019)

Figura 7. *Ángulo de Inclinación y Ángulo de Acimut del Panel Fotovoltaico*



Nota. Tomado de *¿Cómo afecta la orientación e inclinación de las placas solares?*, por Raúl Germán Cordero, SunFields Europe (<https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/como-varia-la-captacion-de-energia-solar-en-superficies-inclinadas/>).

Rendimiento de referencia de radiación solar

El rendimiento de referencia de radiación solar (Y_r) definido en horas, también se conoce como Hora Solar Pico (HSP), (SESLab, 2015) nos explica que:

La hora solar pico traslada toda la energía recibida por el Sol a lo largo de un día a las horas en las que se recibiría toda esa energía si la irradiancia fuera hipotéticamente constante e igual a 1.000 W/m². Es decir, son las horas de irradiancia equivalentes a una irradiación de 1000 W/m² constante que se tiene en un lugar específico. Este parámetro también permite simplificar los cálculos de dimensionamiento de sistemas solares.

Fórmula 3

Rendimiento de Referencia de Radiación Solar (Y_r)

$$Y_r = \frac{H}{G_o}$$

Donde:

- Y_r. Rendimiento de referencia [horas]
- H. Irradiación de la zona [kWh/m²]
- G_o. Irradiancia de Referencia o Equivalente [1000 W/m²]

Potencia total requerida en paneles

La potencia total requerida en paneles (P_{dc}) definida en Watts, igualmente se le llama Potencia pico del campo fotovoltaico (P_{fv}), y se puede obtener a partir de la fórmula de la estimación de producción (E o E_{AC}), como (SESLab, 2015) lo indica:

Podemos ahora hacer un estimado de la energía que vamos a obtener de la instalación. Esto lo hacemos a partir de la fórmula:

Fórmula 4

Estimación de producción (E)

$$E = P_{fv} * HSP_{fv} * PR$$

Es igual a

$$E_{AC} = P_{dc} * Y_r * PR$$

Donde:

- E. Es la energía obtenida de forma diaria de la instalación. Está en kWh.
- P_{fv} . Es la potencia pico del campo fotovoltaico, en kW.
- HSP_{fv} . Horas solares pico, para la orientación e inclinación adecuada.
- PR. (Performance ratio o Factor de desempeño). Número obtenido considerando las pérdidas que pueden presentarse. Tiene un valor entre 0,7 y 0,85.

Fórmula 5

Potencia Total Requerida en Paneles (Pdc)

$$P_{dc} = \frac{E_{AC}}{Yr * PR}$$

Donde:

- E_{AC} . Es igual a E, es decir la energía obtenida de forma diaria de la instalación o la energía diaria que se requiere como demanda del sistema. Está en kWh.
- P_{dc} . Es igual a P_{fv} , la potencia pico del campo fotovoltaico o la potencia requerida en paneles, en kW.
- Yr. Es igual a HSP_{fv} . Rendimiento de referencia u Horas solares pico, para la orientación e inclinación adecuada.
- PR. (Performance ratio o Factor de desempeño). Número obtenido considerando las pérdidas que pueden presentarse. Tiene un valor entre 0,7 y 0,85

Cálculo de la cantidad de paneles requeridos

Para el cálculo de la cantidad de paneles, sólo se requiere obtener el dato de la potencia total requerida en paneles (P_{dc}) y la potencia del panel elegido, la cual se aplica en la siguiente fórmula.:

Fórmula 6

Cálculo de la cantidad de paneles requeridos

$$\text{Cantidad de Paneles} = \frac{P_{dc} \text{ requerida}}{P_{dc} \text{ del panel}}$$

Panel fotovoltaico Canadian Solar Hiku5 Mono

Los cálculos de este proyecto se harán basados en las características del panel fotovoltaico Canadian Solar Hiku5 Mono. Es un módulo de silicio monocristalino, con oblea de 166 mm, 156 celdas dobles y con tecnología PERC (Passivated Emitter Rear Cell), la cual consiste en colocar una capa reflectante adicional en la parte trasera del panel solar para aprovechar al máximo la radiación. La potencia del módulo es de 475 W, con una eficiencia hasta 21,2 %, con garantía del producto mejorada en materiales y mano de obra por 12 años y una garantía de rendimiento de potencia lineal de 25 años. Sus dimensiones son 2252 x 1048 x 35 mm y pesa 25,7 kg. El voltaje máximo del sistema es de 1500 V. (Ver ficha de datos en Apéndices)

¿Qué es PVGIS?

PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) significa Sistema de información geográfica fotovoltaica. De acuerdo con el (Centro Científico de la Unión Europea, s.f.):

PVGIS es una aplicación web que permite al usuario obtener datos sobre la radiación solar y la producción de energía del sistema fotovoltaico (PV), en cualquier lugar de la mayor parte del mundo. Es de uso completamente gratuito, sin restricciones sobre el uso de los resultados y sin necesidad de registrarse.

PVGIS proporciona acceso libre y gratuito a:

- Potencial fotovoltaico para diferentes tecnologías y configuraciones de sistemas conectados a la red e independientes.
- Radiación solar y temperatura, como promedios mensuales o perfiles diarios.

- Serie de tiempo completo de valores horarios de radiación solar y rendimiento fotovoltaico.
- Datos típicos del año meteorológico para nueve variables climáticas.
- Mapas, por país o región, de recursos solares y potencial fotovoltaico listos para imprimir.
- El software PVMAPS incluye todos los modelos de estimación utilizados en PVGIS.

PVGIS está disponible en inglés, francés, italiano y español para cualquier ubicación de Europa y África, así como gran parte de Asia y América.

Nómina de centros educativos

La Nómina de Centros Educativos clasificados por Dirección Regional y Circuitos 2019, fue presentada por el Departamento de Análisis Estadístico de la Dirección de Planificación Institucional, y es donde se encuentra la información por Dirección Regional, circuito, centro educativo y código presupuestario, ubicación geográfica, dependencia, zona, número telefónico de la institución, totales de matrícula y otros servicios educativos que se le brinda al estudiante. (Departamento de Análisis Estadístico de la Dirección de Planificación Institucional, 2019)

Sistema de información geográfica del Ministerio de Educación Pública

El Sistema de Información Geográfica del Ministerio de Educación Pública (SIGMEP), es la entidad encargada de administrar, recolectar, almacenar, integrar y visualizar mediante mapas y servicios en línea, los datos geográficos del ámbito educativo en Costa Rica.

El SIGMEP está sujeto a las consideraciones del Instituto Geográfico Nacional (ING) y del Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT), además de cumplir con los requerimientos mínimos de los estándares del Open Geospatial Consortium (OGC). (Despacho de Planificación Institucional y Coordinación Regional, s.f.)

La muestra de una población

Según la publicación de (Normas APA, 2016):

La muestra es una parte numérica que representa a toda una población. Cuando realizamos tesis de enfoque cuantitativo y como parte de nuestro diseño metodológico necesitamos realizar encuestas o entrevistas, debemos considerar la utilización de una muestra.

Quizás nuestro tema de investigación amerita trabajar con grupos numerosos de participantes, por lo cual se dificultaría realizar cuestionarios a todo el grupo. En esos casos podemos calcular una muestra de la población completa que vamos a estudiar. Esta sería, entonces, una porción de un grupo completo, cuyos resultados pueden ser generalizados a todo un universo. Cómo verás es muy útil para arrojar conclusiones universales con base en una selección particular.

Fórmula para calcular la muestra de una población

La fórmula de la muestra cuenta con algunas variables que es mejor conocer su significado antes de aplicarla. En las (Normas APA, 2016) se define cada término de la siguiente forma:

- N: representa a la población con características afines que conforman los posibles participantes de nuestro estudio.
- n: es la muestra o cantidad representativa de esa población.
- e: es el margen de error o diferencia entre los resultados obtenidos con la muestra y los que se hubiesen obtenido si el estudio se aplicara a toda la población. Idealmente el margen de error debe rondar el 5 %.
- Z: porcentaje de confianza que ofrecen los resultados expuestos. El margen de error y el porcentaje de confianza son dependientes. Si el nivel de certeza deseado por el investigador es de 97 %, su margen de error será de 3 %. El valor de Z a utilizar no es un porcentaje sino un número que equivale a ese porcentaje, en el caso de esta investigación Z del 95% es igual a 1,96.
- p: es la cantidad de sujetos de la población que tienen en común la variable que buscamos medir. Para este caso $p=0,5$.
- q: es el número de personas que no comparten esa variable. Se elige $q= 1-p$ (1-0,5).

Fórmula 7

Cálculo de la Muestra

$$n = \frac{Z^2 * p * q * N}{e^2 * (N - 1) + Z^2 * p * q}$$

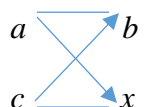
Regla de Proporcionalidad Directa

(Pastor, Escobar, Mayoral, & Ruiz, 2015) se refieren a la regla de proporcionalidad directa con el siguiente concepto:

Una regla de tres es un método para facilitar la resolución de problemas de proporciones en los que un término de la proporción es desconocido. La regla de tres puede ser directa o inversa.

La regla de tres directa corresponde a la proporcionalidad directa (al aumentar una razón, aumenta la otra). Se resuelve aplicando la propiedad fundamental de las proporciones directas. Para resolver una regla de tres directa se multiplican los términos de forma cruzada:

Si a es a b como c es a x , es decir, si $\frac{a}{b} = \frac{c}{x}$ se escribe:



$$a \cdot x = b \cdot c \quad x = \frac{c \cdot b}{a}$$

Tarifas eléctricas cuarto cuatrimestre 2020

Según el archivo de multimedia de la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP, 2020), las tarifas eléctricas de servicios preferenciales de consumo social del último cuatrimestre de 2020 se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 1. Tarifas Eléctricas Preferenciales de Consumo Social – Cuarto Cuatrimestre 2020

TARIFA PREFERENCIAL DE CONSUMO SOCIAL	
Empresa	Precio por kWh (Oct-Nov-Dic 2020)
ICE	₡ 74,18
CNFL	₡ 82,46
JASEC	₡ 69,44
ESPH	₡ 64,14
CL	₡ 88,33
CG	₡ 98,26
CS	₡ 112,99
CAR	₡ 97,21

Nota. Esta tabla muestra los precios de la tarifa preferencial de consumo social, vigentes en el cuarto cuatrimestre de 2020 en cada operador de servicios, según ARESEP, Fuente: Propia.

Área de las zonas de concesión por operador eléctrico

De acuerdo con las zonas de concesión por operador eléctrico, de la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (Intendencia de Energía de ARESEP, 2019), las zonas de cobertura de cada compañía eléctrica comprenden un área en kilómetros y se resumen en la tabla presentada a continuación:

Tabla 2. Área de cobertura de las zonas de concesión por operador eléctrico

ÁREA DE COBERTURA POR OPERADOR ELÉCTRICO	
Empresa	Cantidad de área [km ²]
ICE	39 608,05
CL	4 750,01
CG	3 760,16
CS	1 468,55

ÁREA DE COBERTURA POR OPERADOR ELÉCTRICO	
JASEC	1 208,70
CNFL	942,32
CAR	231,62
ESPH	109,79
ZONA EN BLANCO	44,45

Nota. Esta tabla muestra la cantidad de kilómetros cuadrados de cobertura por operador eléctrico, según ARESEP, Fuente: Propia.

Costo de instalación de sistemas fotovoltaicos

Conforme a los costos internacionales del Laboratorio Nacional de Energías Renovables de Estados Unidos para grandes proyectos; en su informe de Actualización de la Industria Solar del último trimestre 2019 y el primer trimestre 2020, el precio informado del sistema fotovoltaico en Arizona, California, Connecticut, Massachusetts y New York bajó un 11 % quedando en \$1.96/W para sistemas desde 500 kW hasta 5 MW (Feldman & Margolis, 2020, pág. 40); monto que se utilizará para calcular la inversión inicial del análisis financiero de este proyecto.

Costos de producción, operación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos

La Oficina de Tecnologías de Energía Solar (SETO, por sus siglas en inglés) del Laboratorio Nacional de Energías Renovables de Estados Unidos en el documento llamado Puntos de Referencia para los Costos del Sistema Solar Fotovoltaico de Estados Unidos del primer trimestre 2018 (Fu, Feldman, & Margolis, 2018, págs. 29, 42) , hace referencia a que el objetivo para el 2020 en los costos de producción era un valor de \$0.08/kWh y en los costos de operación y mantenimiento de \$0.02/W.

Inflación anual 2020

El Banco Central de Costa Rica presenta en su página web, la tabla Expectativas de Inflación para el 2020 (Banco Central de Costa Rica, 2020), de la cual se extrajeron los promedios

porcentuales de los últimos seis meses para calcular un promedio de inflación anual 2020, dando como resultado la siguiente tabla.

Tabla 3. *Inflación de los últimos seis meses del 2020 y el promedio*

Mes	Inflación (%)
Junio 2020	3,2
Julio 2020	3,0
Agosto 2020	3,0
Setiembre 2020	2,9
Octubre 2020	3,1
Noviembre 2020	2,8
Promedio	3,0

Nota. Esta tabla muestra los porcentajes de inflación de los meses de junio a noviembre de 2020 del Banco Central de Costa Rica y el promedio de esos seis meses, Fuente: Propia.

Tasa de rentabilidad anual

Al consultar, en dos bancos estatales de Costa Rica, las tasas de rentabilidad de los certificados de depósito a plazo a un año en colones, el Banco de Costa Rica indica que para los Físicos Negociables en Bolsa cuenta con un interés del 4,05 % y para los de Banca en Línea y Desmaterializados Físico Negociable BCR, tiene un interés del 4,15 %. El Banco Nacional de Costa Rica cuenta con tasas de interés similares; para los materializados la tasa es de 4,00 %, los desmaterializados con tasa de 4,05 % y los de Internet Banking tienen un interés de 4,10 %. Con el resultado de esta información se elige un 4,00 % como tasa de rentabilidad para los cálculos del Valor Actual Neto y la Tasa Interna de Retorno del proyecto.

Valor actual neto (VAN)

El VAN es un criterio de inversión que consiste en actualizar los flujos de caja futuros (cobros y pagos). Es decir, traer al presente los flujos de caja esperados, descontándolos a

un tipo de interés determinado. Así, el VAN expresará una medida de rentabilidad de un proyecto en términos absolutos.

El VAN se calcula conforme a la siguiente fórmula:

Fórmula 8

Valor Actual Neto (VAN)

$$VAN = -I_o + \frac{F_1}{(1+k)} + (\dots) + \frac{F_n}{(1+k)^n}$$

Donde:

I_o : es la inversión inicial

F_t : son los flujos de caja en cada periodo

n : es el número de periodos

k : la tasa de descuento.

Cuando el VAN es superior a cero, se puede entender que la actualización de los flujos de caja generara beneficios. Si el VAN es igual a cero, la inversión no generará beneficios ni pérdidas. Y finalmente, cuando el VAN es inferior a cero, el proyecto de inversión generara pérdidas.

El principal inconveniente que puede presentar el VAN es la determinación de la tasa de descuento. Recordemos que la tasa de descuento es la tasa que permite actualizar los flujos de caja proyectados a futuro. Traerlos al momento actual. (Sanz González, 2019)

Tasa interna de retorno (TIR)

La tasa interna de retorno (TIR) es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión. Es decir, es el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá una inversión para las cantidades que no se han retirado del proyecto.

Es una medida utilizada en la evaluación de proyectos de inversión que está muy relacionada con el valor actualizado neto (VAN). También se define como el valor de la

tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero, para un proyecto de inversión dado.

La tasa interna de retorno (TIR) nos da una medida relativa de la rentabilidad, es decir, va a venir expresada en tanto por ciento. El principal problema radica en su cálculo, ya que el número de periodos dará el orden de la ecuación a resolver.

También se puede definir basándonos en su cálculo, la TIR es la tasa de descuento que iguala, en el momento inicial, la corriente futura de cobros con la de pagos, generando un VAN igual a cero:

Fórmula 9

Tasa Interna de Retorno (TIR)

$$VAN = -I_o + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} = 0$$

$$VAN = -I_o + \frac{F_1}{(1 + TIR)} + \frac{F_2}{(1 + TIR)^2} + (...) + \frac{F_n}{(1 + TIR)^n} = 0$$

Donde:

Ft: son los flujos de dinero en cada periodo t

Io: es la inversión que se realiza en el momento inicial (t=0)

n: es el número de periodos de tiempo.

(Sevilla Arias, 2017)

¿Qué es la generación distribuida?

Es la generación de energía eléctrica realizada a partir de fuentes renovables (solar, eólica, biomasa, micro hídrica, etc.) dentro de la propiedad del cliente, con el fin de satisfacer las necesidades energéticas propias del abonado-usuario en el sitio de generación y la posibilidad de inyectar a la red de distribución los excedentes de energía para usarlos posteriormente en el mismo punto de interconexión dentro de un período anual, es decir, se da un intercambio de electricidad

con la empresa distribuidora (neteo) a liquidar anualmente y de hasta un 49 % de la energía total producida que se puede inyectar a la red. (CNFL, 2020)

Leyes y normas

De acuerdo con el Reglamento Generación Distribuida para Autoconsumo con Fuentes Renovables Modelo de Contratación Medición Neta Sencilla, publicado en La Gaceta N° 196 de 2015: (SCIJ, 2015)

Artículo 1° - Objetivo. Regular la actividad de generación distribuida para autoconsumo con fuentes renovables utilizando el modelo contractual de medición neta sencilla, de forma que su implementación contribuya con el modelo eléctrico del país, y se asegure la prestación óptima del servicio de suministro eléctrico que se brinda a todos los abonados.

Artículo 20. - Prohibición para la distribución y comercialización. La interconexión del sistema de generación distribuida no le otorga el derecho a utilizar la red de distribución para distribuir y comercializar energía, con el fin de satisfacer la demanda de electricidad a terceros o bien satisfacer la demanda de electricidad en un sitio diferente al punto de interconexión establecido en el contrato.

Artículo 34. – Autorización para almacenamiento y retiro de energía. El productor-consumidor podrá depositar en la red de distribución la energía no consumida, y tendrá derecho a retirar hasta un máximo del cuarenta y nueve por ciento (49 %) de la energía total generada, para utilizarla en el mes o meses siguientes en un periodo anual.

La energía total producida y la energía no consumida serán contabilizadas de forma mensual por un período de un año dentro del proceso de facturación, siendo su fecha anual de corte un acuerdo de las partes dentro del consumo de interconexión.

Se exceptúan de estas limitaciones, previa evaluación y autorización de la empresa distribuidora, los sistemas de generación distribuida que utilicen residuos agroindustriales o la fuerza hidráulica para la generación de electricidad.

Artículo 37. - Medición neta sencilla. Esta modalidad permite que se deposite en la red de distribución la energía no consumida en forma mensual, para hacer uso de ella durante un ciclo anual, en forma de consumo diferido.

Si el productor-consumidor consume más energía que la depositada en la red de distribución deberá pagar la diferencia de acuerdo a las tarifas establecidas por la ARESEP.

La producción de energía deberá medirse en su totalidad y se contabilizará de acuerdo a lo estipulado en el contrato de interconexión.

Artículo 42. - Tarifas. La ARESEP será la responsable de establecer las tarifas de interconexión, acceso, cargos por potencia, actividades de gestión administrativa y técnica y cualquier otro cargo aplicable a la actividad regulada asociada a la generación distribuida para autoconsumo modalidad contractual medición neta sencilla.

Artículo 45. - Derechos sobre la red de distribución eléctrica. La actividad de generación distribuida no otorga derecho alguno al productor-consumidor sobre la red de distribución eléctrica.

Artículo 46. - Sanción. Si el productor-consumidor afecta de cualquier forma a la red de distribución, asumirá los daños y perjuicios ocasionados, mediante el pago a la empresa distribuidora, y le serán aplicables las sanciones vigentes establecidas en las disposiciones legales y reglamentarias para la actividad de generación eléctrica.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

Enfoque de la investigación

Este trabajo de investigación estará basado en un enfoque cuantitativo, el cual representa un conjunto de procesos secuenciales y probatorios. Inicia con una idea que va demarcándose, para el planteamiento y especificación del problema, se realiza una revisión de la teoría que guiará el estudio hacia una o varias hipótesis que se someten a comprobación a partir del uso de los diseños investigados que sean más adecuados, se recolectan los datos fundamentados con la medición de variables, que se analizarán para la elaboración del reporte de resultados, el cual debe ser objetivo y no verse afectado por los deseos, tendencias o creencias del investigador.

Conforme a Hernández, Fernández y Baptista (2014), las siguientes son características del enfoque cuantitativo muy atinadas a esta investigación:

- Los estudios cuantitativos siguen un patrón predecible y estructurado (el proceso) y se debe tener presente que las decisiones críticas sobre el método se toman antes de recolectar los datos.
- En una investigación cuantitativa se intenta generalizar los resultados encontrados en un grupo o segmento (muestra) a una colectividad mayor (universo o población). También se busca que los estudios efectuados puedan replicarse.
- Para este enfoque, si se sigue rigurosamente el proceso y, de acuerdo con ciertas reglas lógicas, los datos generados poseen los estándares de validez y confiabilidad, las conclusiones derivadas contribuirán con la generación de conocimiento.

Método de la investigación

Para el desarrollo de este proyecto se utilizará la metodología de investigación de campo, se visitarán algunas escuelas con el fin de recolectar datos directos de la realidad, como los consumos eléctricos mensuales del año anterior para generar criterios estadísticos para el procesamiento de la información recolectada, también se realizarán mediciones estructurales para establecer el tipo de escuela al que pertenece según los modelos del MEP, mediciones de las cargas para definir la capacidad de los paneles a utilizar y se consultará por la cantidad de estudiantes para establecer los diseños basándose no sólo en la estructura de la edificación, sino también en los posibles consumos por estudiante.

Además, se aplicará la investigación documental que correspondería a la parte teórica que dará fundamento científico y verás a los cálculos y diseños.

Fuentes de información

En esta investigación se tomará en cuenta toda información relacionada con el tema y que esté presente en libros, revistas, otros proyectos sobre el tema, leyes y normas, requerimientos de los sistemas y métodos para poner en práctica los diseños creados. Otras fuentes de información serán el Ministerio de Educación, las compañías eléctricas y las empresas distribuidoras de los dispositivos a utilizar.

Variables o unidades de análisis

- Tensión: es la variable que permitirá definir el tipo de sistema eléctrico que utiliza la edificación, la unidad de medida de dicha variable es el voltaje (V), la medición se realizará en las líneas eléctricas de entrada a las instalaciones.
- Corriente: es la variable que indicará la cantidad de carga que tienen las instituciones, la unidad de medida de esta variable es amperios (A) y la medición se tomará en el disyuntor principal después del medidor eléctrico.
- La potencia: es la variable que permitirá tener un panorama del consumo eléctrico que tienen las escuelas, su unidad de medida es en watts (W) y la medición se verificará en los recibos eléctricos mensuales.
- Dimensiones de techos: es la variable que determinará el tamaño de cada institución educativa, la unidad de medida son los metros cuadrados (m^2) y se medirá el tamaño de las aulas, centros de cómputo, baños, oficinas, sodas o comedores escolares.

Instrumentos

- Multímetro: es un instrumento para medir directamente magnitudes eléctricas activas como corrientes y diferencias de potencial, o pasivas como resistencias, capacitancias

y continuidad. Las medidas pueden realizarse para corriente continua o corriente alterna.

- **Amperímetro:** es un instrumento que se utiliza para medición de la corriente eléctrica que pasa por un circuito. Estos instrumentos están compuestos por un galvanómetro y una serie de resistencias en paralelo llamadas shunt.
- **Cinta métrica:** instrumento de medida que consiste en una cinta flexible graduada en metros y pulgadas que sirve para medir distancias lineales y superficies curvas.
- **Plano eléctrico:** es la representación gráfica de los diferentes circuitos que integran y definen las características de una instalación eléctrica y donde se especifican los detalles de los materiales y dispositivos existentes.
- **Plano estructural:** es una representación gráfica de elementos estructurales, que siguen ciertas normas para su dibujo y su posterior interpretación. Es una guía en la materialización de cualquier obra, contiene el orden secuencial y detallado del proceso constructivo de cada etapa y de cada elemento estructural que la conforma.

Proceso para la recolección y análisis de datos

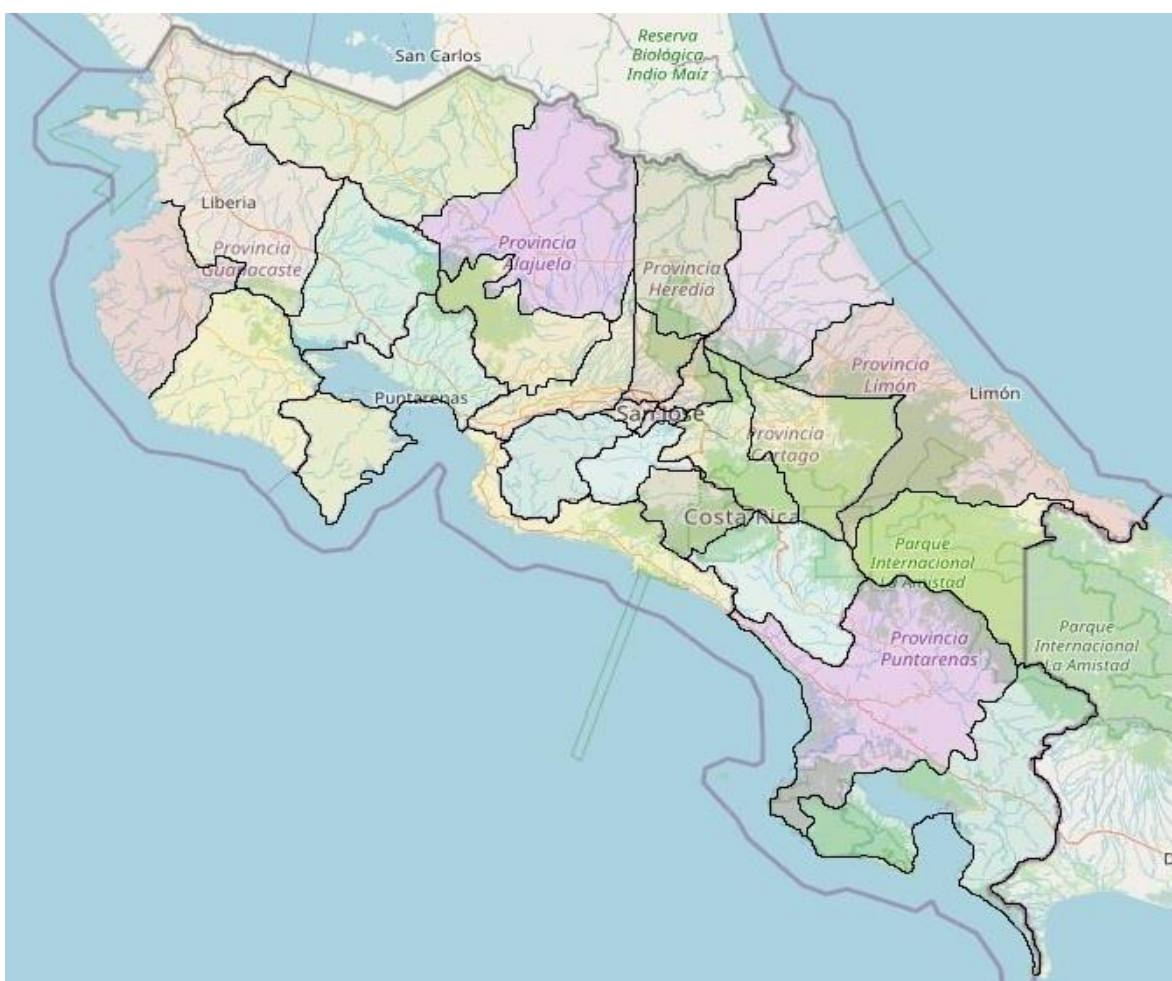
En esta fase se iniciará la recolección de datos por medio de fichas de mercado, planos, recibos eléctricos, visitas de campo para obtener datos específicos como distribución de estructuras, dimensiones del terreno, tipos de cargas o equipos y algunas imágenes de las instituciones, con el propósito de realizar cálculos de las capacidades necesarias para establecer diseños que ayudarán en el análisis y evaluación de los distintos escenarios, y así determinar las cantidades de paneles fotovoltaicos y su ubicación.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

Diagnóstico

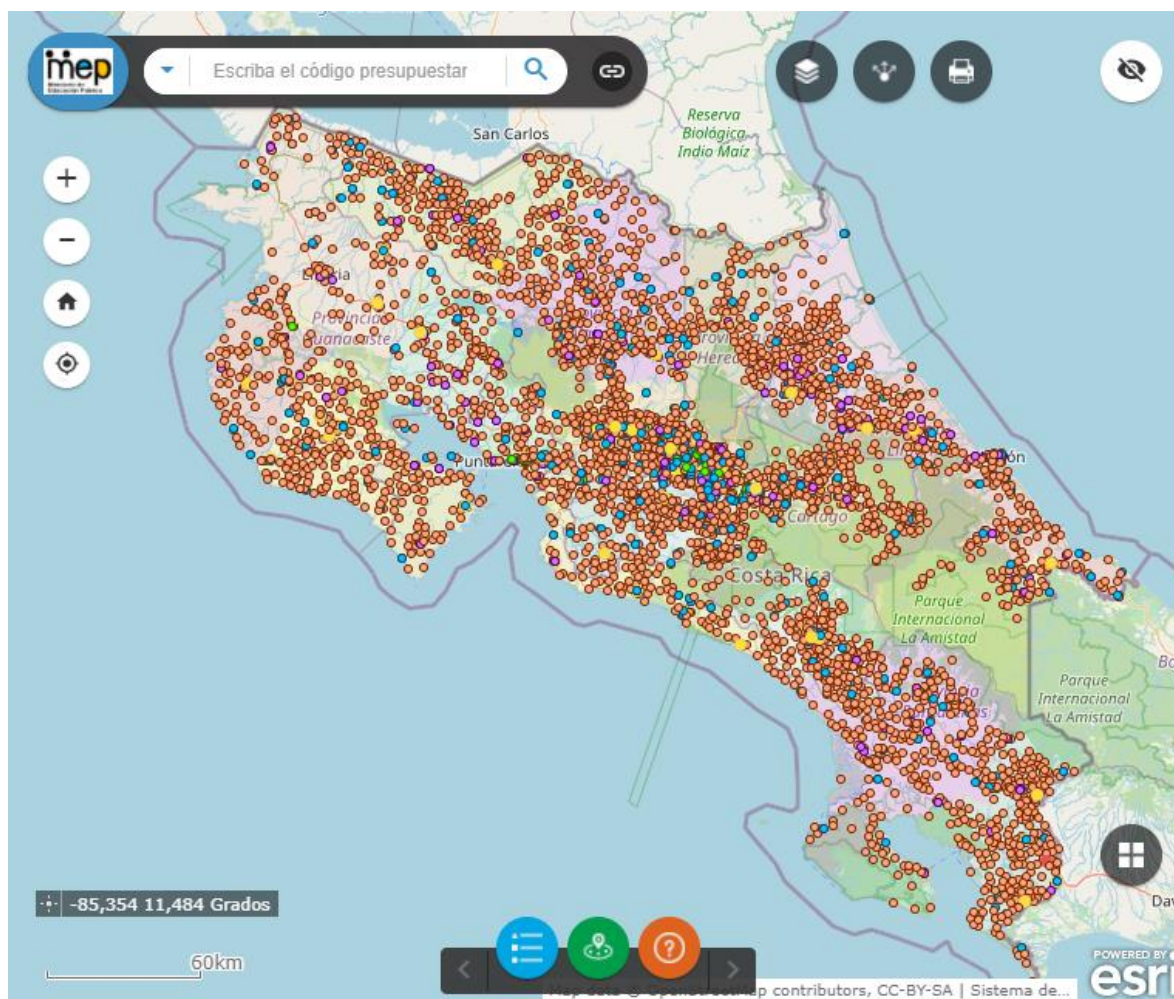
Los centros educativos públicos de Costa Rica que brindan lecciones como parte de la educación general básica, en los grados académicos de preescolar y primaria, rondan aproximadamente las 3707 escuelas. Estas se encuentran agrupadas administrativamente en 27 Direcciones Regionales de Educación (DRE) y están distribuidas físicamente en todo el territorio nacional, como se muestra en los siguientes mapas.

Figura 8. Ubicación de las Direcciones Regionales de Educación



Nota. Tomado de *El Sistema de Información Geográfica del Ministerio de Educación Pública*, por Despacho de Planificación Institucional y Coordinación Regional, 2020, SIGMEP (<https://sigmep.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=e5588a81e7744161a149608a773f23f2>).

Figura 9. Ubicación de las Escuelas Públicas de Costa Rica



Nota. Tomado de *El Sistema de Información Geográfica del Ministerio de Educación Pública*, por Despacho de Planificación Institucional y Coordinación Regional, 2020, SIGMEP (<https://sigmep.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=e5588a81e7744161a149608a773f23f2>).

El Ministerio de Educación Pública (MEP), al ser el encargado de brindar educación gratuita, de calidad y accesible para toda la población estudiantil en cada rincón del país, además de ofrecer el servicio de alimentación a los estudiantes, que por su estatus económico así lo requiera; ha crecido considerablemente en edificaciones para impartir lecciones, en comedores escolares y por ende en algunos dispositivos tecnológicos, iluminación y equipo de tipo industrial que provocan altos consumos de energía, lo cual lleva a los centros educativos a gastar grandes

sumas de dinero en facturas eléctricas, elevando los presupuestos en servicios de electricidad que anualmente asigna el Ministerio.

Para disminuir esta problemática en el nivel país, se evaluará la factibilidad técnica y financiera de incorporar sistemas de energía renovable con paneles fotovoltaicos en las escuelas del territorio nacional. Inicialmente el proyecto consistirá en unificar las 27 Direcciones Regionales de Educación en las 6 Regiones Socioeconómicas que se divide Costa Rica; esto con el fin de generar una visualización más sencilla de la distribución de las escuelas que maneja el MEP y para mostrar los resultados obtenidos al final del proyecto.

Con esta nueva distribución de los centros educativos se procede a calcular el tamaño de la muestra que será seleccionada en cada Región para representar adecuadamente al total de las escuelas, ya que, por cuestiones del límite de tiempo asignado para llevar a cabo la investigación, no es posible hacer un censo de todas las escuelas y se debe trabajar con una muestra de ellas.

Teniendo definido el tamaño de las muestras por Región se aplicará la regla de proporcionalidad directa, en cada una de las seis muestras, para determinar que fracción de escuelas corresponde investigar de cada DRE según la Región a la que pertenecen, esto debido a que El Sistema de Información Geográfica del Ministerio de Educación Pública (SIGMEP) tiene el mapa del país delimitado en Direcciones Regionales de Educación y no en Regiones. Con el dato de cuantas escuelas por DRE se van a analizar, se continúa con la extracción de la información de latitud y longitud de las escuelas, procurando que las elegidas estén distribuidas homogéneamente en el mapa de SIGMEP.

Obtenidos todos los datos de latitud y longitud de las escuelas de las muestras, se procede a utilizar la herramienta de radiación solar del Sistema Fotovoltaico de Información Geográfica (PVGIS) del Centro Científico de la Comisión Europea, para extraer la irradiación anual [kWh/m²] en cada ubicación de las escuelas y los ángulos óptimos de inclinación y acimut para los paneles fotovoltaicos. Al tabular esas irradiaciones por Región, se detecta que existen diferencias bastante marcadas entre algunas escuelas, lo que provoca que sea necesario crear una nueva división de escuelas en subzonas por Región, donde la clasificación esté basada en rangos de irradiación por subzona. Con las escuelas clasificadas en rangos de irradiación se procede a calcular el promedio de cada subzona para utilizar estos valores en los cálculos de los paneles.

La Escuela Ascensión Esquivel Ibarra del cantón de Alajuela, se asumió como un caso de estudio para determinar un consumo eléctrico diario aproximado por alumno, esto a partir de la

información que la institución brindó, sobre los consumos de energía de algunos meses del 2019 y la cantidad de alumnos que tuvieron durante ese año. El dato calculado se utilizó para deducir la demanda en Wh/día del total de alumnos de cada subzona y junto con el promedio de irradiación se logra obtener la potencia requerida en paneles fotovoltaicos y la cantidad de ellos, tomando en consideración el uso de paneles de 475W.

Como el proyecto se pretende evaluar financieramente en el nivel de todo el país y la implementación requeriría grandes proveedores que utilizan precios internacionales, se calculará la parte financiera basándose en los costos de instalación, producción, mantenimiento y operación del Laboratorio Nacional de Energías Renovables de los Estados Unidos (NREL por sus siglas en inglés), en el precio por kWh del último trimestre del 2020 del Instituto Costarricense de Electricidad, quien es el proveedor eléctrico de mayor cobertura en el país, a un promedio de inflación anual en Costa Rica del 3,00 %, a una tasa de rentabilidad del 4,00 % para lo que es el VAN y el TIR, y al tipo de cambio del dólar del Banco Central de Costa Rica al día 15 de octubre de 2020 por 605 colones.

Agrupación de las direcciones regionales de educación en regiones

La agrupación de las 27 Direcciones Regionales de Educación del MEP en las 6 Regiones Socioeconómicas que el Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (MIDEPLAN) utilizada para planificar y administrar proyectos en el país; permitirá en esta investigación visualizar de una forma más sencilla la distribución de las escuelas con que trabaja el MEP y finalmente servirá para mostrar los resultados obtenidos en el proyecto bajo un esquema utilizado en el nivel nacional. Sin embargo; la delimitación de las DRE seguirá siendo utilizada en el documento como parte de la obtención de datos geográficos en el mapa de SIGMEP y para algunos análisis de la información.

En la tabla 4 se puede observar que la Región Central está conformada por 11 DRE, la Región Chorotega por 4 DRE y las Regiones Pacífico Central, Brunca, Huetar Atlántica y Huetar Norte por 3 DRE cada una.

Tabla 4. Agrupación de las direcciones regionales de educación en regiones socioeconómicas

Direcciones regionales de educación	Regiones
1 DRE San José Central	
2 DRE San José Norte	
3 DRE San José Oeste	
4 DRE Desamparados	
5 DRE Puriscal	
6 DRE Los Santos	Región Central
7 DRE Alajuela	
8 DRE Occidente	
9 DRE Cartago	
10 DRE Turrialba	
11 DRE Heredia	
12 DRE Liberia	
13 DRE Nicoya	Región Chorotega
14 DRE Santa Cruz	
15 DRE Cañas	
16 DRE Puntarenas	
17 DRE Aguirre	Región Pacífico Central
18 DRE Peninsular	
19 DRE Pérez Zeledón	
20 DRE Coto	Región Brunca
21 DRE Grande de Térraba	
22 DRE Limón	
23 DRE Guápiles	Región Huetar Atlántica
24 DRE Sulá	
25 DRE San Carlos	
26 DRE Zona Norte-Norte	Región Huetar Norte
27 DRE Sarapiquí	

Nota. Esta tabla muestra cómo se distribuyeron las 27 direcciones regionales de educación en las 6 regiones socioeconómicas, Fuente: Propia.

Cantidad de escuelas por Dirección Regional de Educación

Utilizando los datos del archivo de la Nómina de Centros Educativos clasificados por Dirección Regional de Educación, publicada en junio del 2019, se creará la siguiente tabla que resume la cantidad de escuelas que tiene cada DRE.

Tabla 5. Escuelas por Dirección Regional de Educación

Direcciones Regionales de Educación	Cantidad de escuelas	Regiones
1 DRE San José Central	45	
2 DRE San José Norte	46	
3 DRE San José Oeste	41	
4 DRE Desamparados	121	
5 DRE Puriscal	114	
6 DRE Los Santos	70	Región Central
7 DRE Alajuela	163	
8 DRE Occidente	146	
9 DRE Cartago	141	
10 DRE Turrialba	176	
11 DRE Heredia	87	
12 DRE Liberia	95	
13 DRE Nicoya	163	Región Chorotega
14 DRE Santa Cruz	98	
15 DRE Cañas	106	
16 DRE Puntarenas	121	
17 DRE Aguirre	94	Región Pacífico Central
18 DRE Peninsular	66	
19 DRE Pérez Zeledón	227	
20 DRE Coto	288	Región Brunca
21 DRE Grande de Térraba	238	
22 DRE Limón	214	Región Huetar Atlántica

Direcciones Regionales de Educación	Cantidad de escuelas	Regiones
23 DRE Guápiles	178	
24 DRE Sulá	85	
25 DRE San Carlos	300	
26 DRE Zona Norte-Norte	170	Región Huetar Norte
27 DRE Sarapiquí	114	
Total	3707	

Nota. Esta tabla muestra la cantidad de escuelas que tiene cada una de las 27 direcciones regionales de educación en las 6 regiones socioeconómicas, Fuente: Propia.

Cantidad de escuelas y población estudiantil por región

Tomando en cuenta la información del archivo de la Nómina de Centros Educativos clasificados por Dirección Regional de Educación, publicada en junio de 2019, se realiza la agrupación de las escuelas por región y se obtiene los datos que muestra la siguiente tabla.

Tabla 6. Escuelas y alumnos por región

Regiones	Direcciones Regionales	Escuelas	Alumnos
Central	11	1 150	306 357
Chorotega	4	462	48 793
Pacífico Central	3	281	33 273
Brunca	3	753	54 221
Huetar Atlántica	3	477	68 527
Huetar Norte	3	584	61 320
Total	27	3 707	572 491

Nota. Esta tabla muestra la cantidad de escuelas y alumnos de cada Región, a partir de los datos extraídos de la Nómina de Centros Educativos de junio 2019, Fuente: Propia.

Datos obtenidos del caso de estudio

El caso de estudio utilizado es la escuela Ascensión Esquivel Ibarra del cantón de Alajuela, quien informó que en el año 2019 contaba con 872 alumnos, además facilitó los datos de consumo eléctrico y los montos cancelados de los recibos de 9 meses de 2019, los cuales se detallan en la tabla 7 y el gráfico 1.

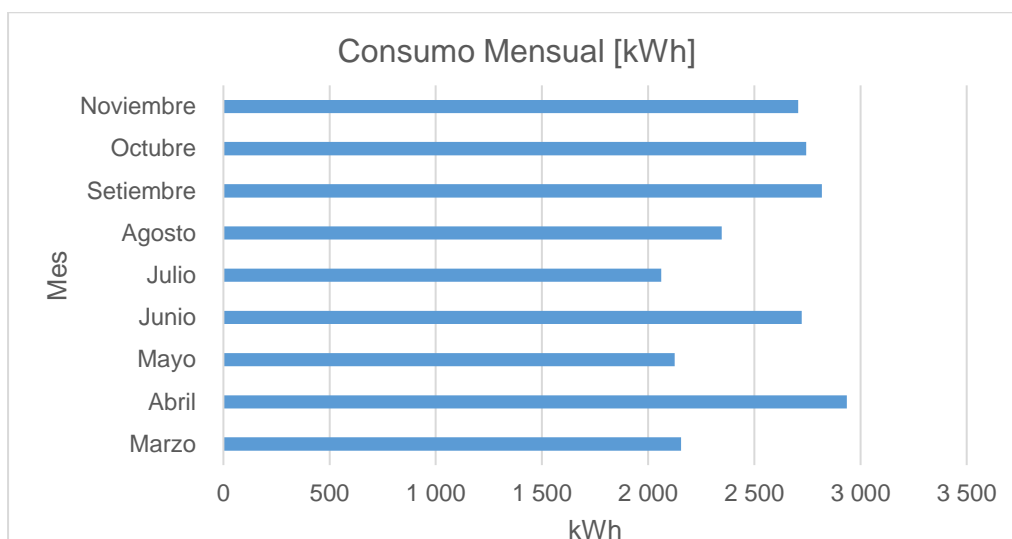
Tabla 7. *Recibos del servicio de electricidad 2019 – Escuela Ascensión Esquivel Ibarra*

Mes	Monto Recibo	Consumo Mensual [kWh]
Marzo	₡ 186 120,00	2 155
Abril	₡ 257 675,00	2 935
Mayo	₡ 193 995,00	2 125
Junio	₡ 247 850,00	2 723
Julio	₡ 197 940,00	2 061
Agosto	₡ 242 930,00	2 347
Setiembre	₡ 291 150,00	2 818
Octubre	₡ 280 680,00	2 744
Noviembre	₡ 271 900,00	2 706

Nota. Esta tabla indica el consumo eléctrico y el monto pagado de los recibos del servicio de electricidad de marzo a noviembre de 2019 que proporcionó la Escuela Ascensión Esquivel Ibarra. Fuente: Propia.

Gráfico 1

Consumo eléctrico de marzo a noviembre 2019 – Escuela Ascensión Esquivel Ibarra



Nota. Consumo eléctrico mensual en kWh, de los meses de marzo a noviembre 2019 de la Escuela Ascensión Esquivel Ibarra. Fuente: Propia.

De acuerdo con el gráfico del consumo eléctrico de marzo a noviembre 2019 de la Escuela Ascensión Esquivel Ibarra se puede definir que el consumo durante los meses que los alumnos asisten a clases no baja de 2000 kWh y que cuenta con 5 meses que el consumo se eleva a más de 2500 kWh.

Cálculo de la muestra de las escuelas por región

Para poder realizar los cálculos de las muestras de las escuelas por Región, se debe recurrir a la fórmula 7 del marco de referencia. Además, utilizar los datos de la cantidad total de escuelas por Región de la tabla 6, lo cual sería equivalente al tamaño de la población (N) en la fórmula. Como se pretende maximizar el tamaño de la muestra (n) se definirá una probabilidad a favor del 50 % ($p=0,5$), por lo tanto, la probabilidad en contra será también del 50 % ($q=0,5$), el nivel de confianza por utilizar va a ser del 95 %, es decir $z=1.96$, y el margen de error del 5% ($e=0,05$). El cálculo se efectuará tomando como ejemplo la Región Central que tiene 1150 escuelas, es decir, tamaño de la población $N=1150$.

Ecuación 1

Cálculo para obtener el tamaño de la muestra de las escuelas a utilizar de la Región Central.

$$n = \frac{(1,96)^2 * 0,5 * 0,5 * 1150}{(0,05)^2 * (1150 - 1) + (1,96)^2 * 0,5 * 0,5} \approx 289 \text{ Escuelas Región Central}$$

Si se sigue empleando la ecuación 1 para los datos de la tabla 6, se obtendrá la cantidad de escuelas de las muestras a utilizar en cada Región, los resultados obtenidos se indican en la siguiente tabla.

Tabla 8. *Muestra de escuelas por región*

Regiones	Muestra de escuelas
Central	289
Chorotega	210
Pacífico Central	163
Brunca	255
Huetar Atlántica	214
Huetar Norte	232
Total	1 363

Nota. Esta tabla indica el tamaño de la muestra de las escuelas por Región y el total de muestras. Fuente: Propia.

Cálculo de la proporción de escuelas para cada DRE de la muestra por región

Como se requiere conocer la proporción de escuelas que le corresponde a cada DRE de cada muestra en su Región, se debe aplicar la regla de proporcionalidad directa para lo cual, se necesitará el dato de la cantidad de escuelas por DRE de la tabla 5, las escuelas por Región de la tabla 6 y la cantidad de la muestra de escuelas por Región de la tabla 8. Para ejemplificar el uso de

la Regla de Proporcionalidad Directa se tomará el dato de 45 escuelas de la DRE San José Central, para multiplicarlo por las 289 escuelas de la muestra de la Región Central y dividir la cifra obtenida entre las 1150 escuelas correspondientes al total de la Región Central.

Ecuación 2

Regla de Proporcionalidad Directa ~~Tres~~ para obtener la fracción de escuelas de la muestra a utilizar en la DRE San José Central.

$$\frac{1150}{45} = \frac{289}{X} \rightarrow X = \frac{45 * 289}{1150} \approx 11 \text{ Escuelas de muestra para DRE San José Central}$$

Si se continúa empleando la ecuación 2 para los datos de las tablas 5, 6 y 8, se obtendrá la cantidad de escuelas que le corresponde a cada DRE de las muestras de cada Región. Cada resultado obtenido se mostrará en la tabla 9.

Tabla 9. Fracciones de las muestras de escuelas para cada Dirección Regional de Educación

Regiones	Muestra de escuelas por región	Direcciones regionales de educación	Fracciones de las muestras de escuelas para cada DRE
		DRE San José Central	11
		DRE San José Norte	12
		DRE San José Oeste	10
		DRE Desamparados	30
		DRE Puriscal	29
Región Central	289	DRE Los Santos	18
		DRE Alajuela	41
		DRE Occidente	37
		DRE Cartago	35
		DRE Turrialba	44
		DRE Heredia	22

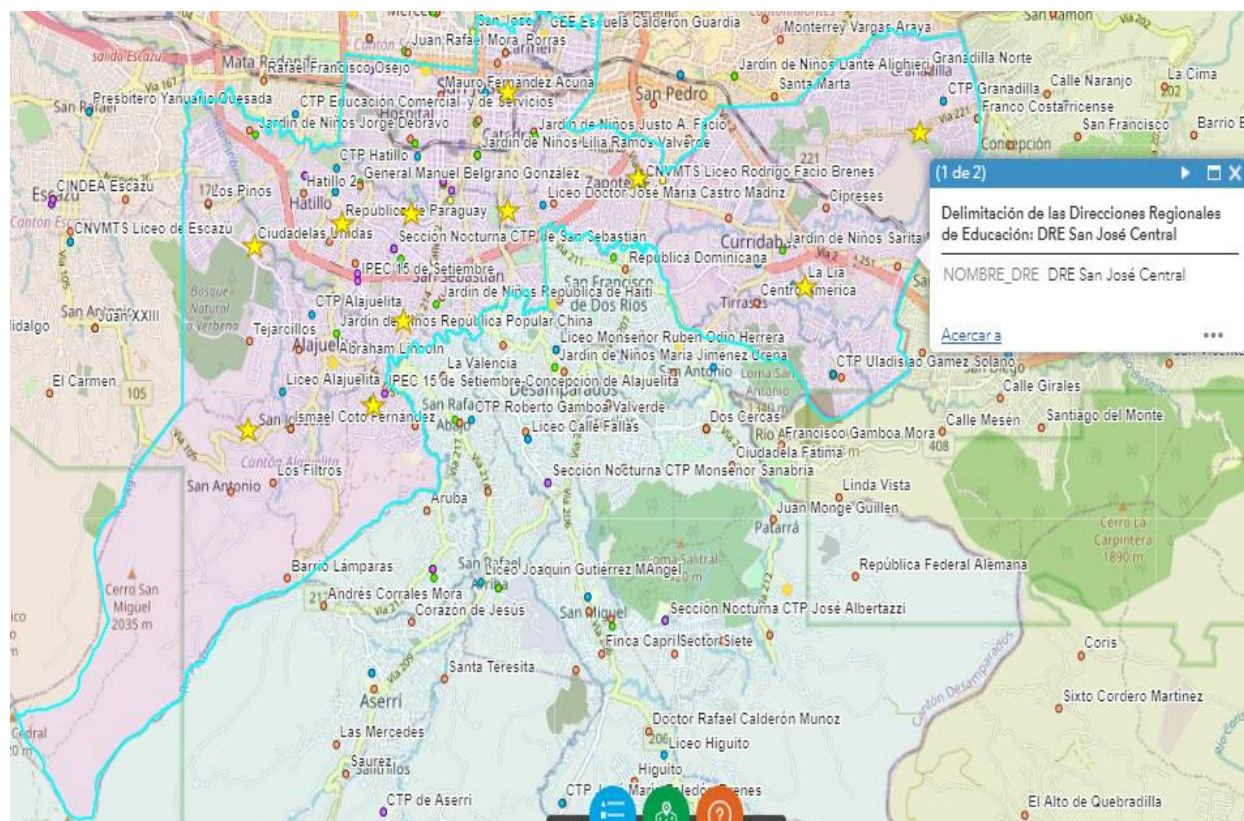
Región Chorotega	210	DRE Liberia	43
		DRE Nicoya	74
		DRE Santa Cruz	45
		DRE Cañas	48
Región Pacífico Central	163	DRE Puntarenas	70
		DRE Aguirre	55
		DRE Peninsular	38
Región Brunca	255	DRE Pérez Zeledón	77
		DRE Coto	97
		DRE Grande de Térraba	81
Región Huetar Atlántica	214	DRE Limón	96
		DRE Guápiles	80
		DRE Sulá	38
Región Huetar Norte	232	DRE San Carlos	119
		DRE Zona Norte-Norte	68
		DRE Sarapiquí	45
Total	1363	Total	1363

Nota. Esta tabla indica la cantidad de escuelas que le corresponde a cada Dirección Regional de Educación de las muestras por Región. Fuente: Propia.

Consulta de latitudes y longitudes de las escuelas en SIGMEP

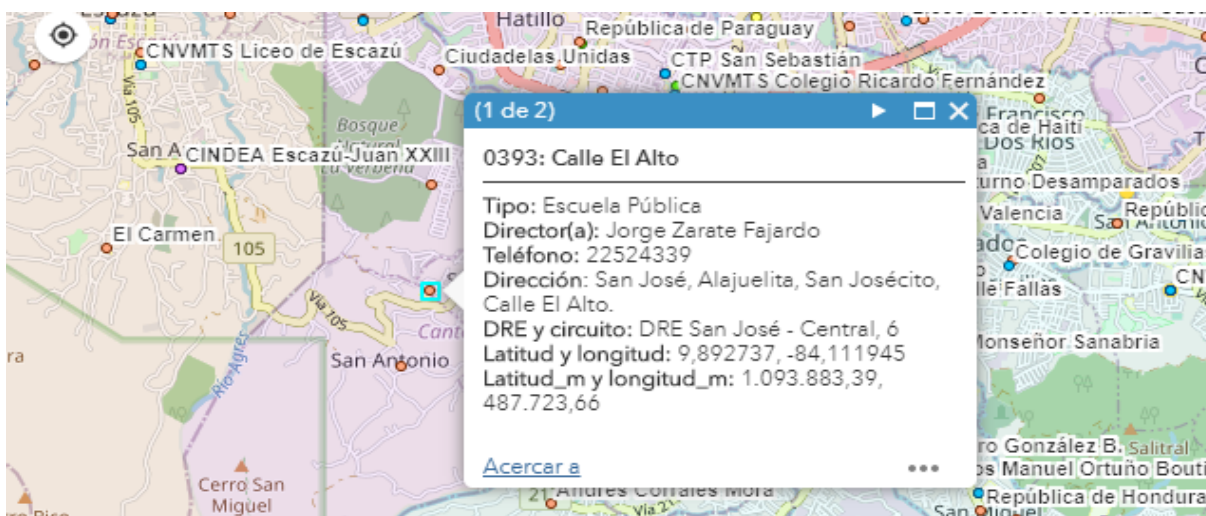
Para extraer los datos de latitud y longitud de cada escuela elegida procurando una distribución homogénea en el mapa de SIGMEP, primero se marca la DRE a estudiar en el mapa, se le aplica la herramienta de recorte para obtener la imagen del mapa y se procede a ir eligiendo y colocando un marcador a cada escuela que vamos a tomar en consideración para el análisis como se ejemplifica en las figuras 10 y 11, luego se tabula cada latitud y longitud en la lista de escuelas. Como la lista de escuelas es muy extensa sólo se mostrará una imagen (figura 12) donde se visualiza la tabla de almacenamiento de los datos.

Figura 10. Delimitación de la Dirección Regional de Educación San José Central



Nota. Esta figura muestra el mapa de la Delimitación de la DRE San José Central con las marcas de las escuelas que se tomaron en consideración para el análisis del proyecto. Tomado de SIGMEP, 2020, (<https://sigmep.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=e5588a81e7744161a149608a773f23f2>).

Figura 11. Ejemplo de la toma de datos de Latitud y Longitud de la Escuela Calle El Alto DRE San José Central



Nota. Esta figura muestra cómo se observan los datos de latitud y longitud de una escuela en el mapa de SIGMEP. Tomado de SIGMEP, 2020, (<https://sigmep.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=e5588a81e7744161a149608a773f23f2>).

Figura 12. Imagen de la tabla de almacenamiento de los datos de las escuelas

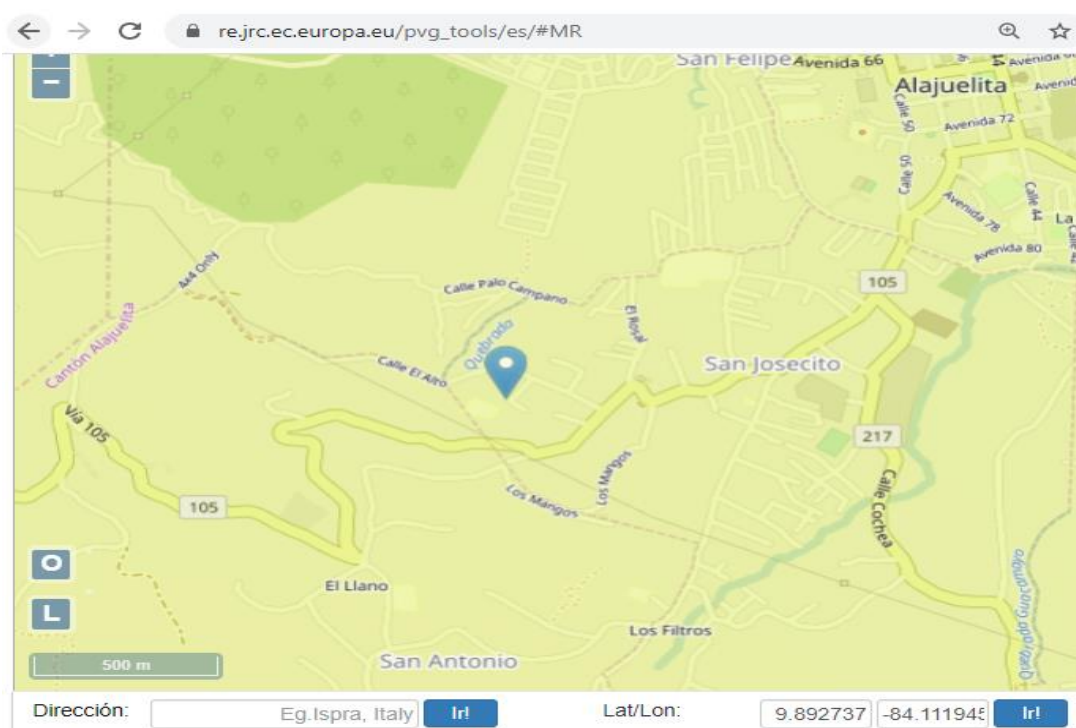
CODIG O PRESUP	NOMBRE DE LA INSTITUCIÓN	Optimize			Latitud	Longitud
		n anual en el	Slope angle	Azimuth angle		
CIRCUITO 06						
0311	CARMEN LYRA					
0330	CONCEPCION	1793,53	11,00	-52,00	9.895536	-84.093817
0340	EL LLANO					
0353	TEJARCILLOS					
0356	CIUDADELAS UNIDAS	1796,26	12,00	-54,00	9.913894	-84.111209
8	ABRAHAM LINCOLN					
0393	CALLE EL ALTO	1793,50	11,00	-54,00	9.892737	-84.111945
0428	SAN FELIPE					
0431	ISMAEL COTO FERNANDEZ					
0472	LOS PINOS					
5342	LOS FILTROS					

Nota. En esta figura se puede observar la tabla donde se almacenaron los datos de Latitud, Longitud, Irradiación Anual, Ángulo y Acimut Óptimo de cada ubicación geográfica de las escuelas, Fuente: Propia.

Utilización de la herramienta de radiación solar del PVGIS

La herramienta de radiación solar del Sistema Fotovoltaico de Información Geográfica (PVGIS), se utilizará para extraer la irradiación anual [kWh/m²], el ángulo de inclinación y el acimut óptimo en cada ubicación geográfica de las escuelas. En este punto ya se tiene toda la información de latitud y longitud de los centros educativos de la muestra, por lo que se procede a incluir individualmente los datos de cada escuela en el PVGIS, luego se eligen las opciones de “Conectado a Red” y “Optimizar inclinación y acimut” y se presiona el botón “Visualizar Resultados”, la aplicación mostrará una amplia información, pero para este proyecto sólo será necesario extraer los datos de irradiación anual, el ángulo y acimut óptimo, para tabularlos en el archivo de información de las escuelas que se mostró en la figura 12. Las figuras 13, 14 y 15 muestran las pantallas de los pasos a seguir para conseguir la información requerida.

Figura 13. Imagen del mapa de la aplicación del PVGIS



Nota. En la esquina inferior izquierda de esta figura se muestra el espacio para escribir la latitud y longitud del lugar que se quiere obtener información de la irradiación, Tomado de PVGIS, 2020, (https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/#MR).

Figura 14. Imagen de la aplicación del PVGIS

re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/#MR

Cursor:
Seleccionado: 9.893, -84.112
 Elevación (m): 1247

Utilizar las sombras del terreno:
 Horizonte calculado
 Cargar archivo de horizonte

[↓ csv](#) [↓ json](#)
 Seleccionar archivo Ningún archi... s

CONECTADO A RED

RENDIMIENTO DE UN SISTEMA FV CONECTADO A RED

Base de datos de radiación solar* PVGIS-NSRDB

Tecnología FV* Silicio cristalino

Potencia FV pico instalada [kWp]* 1

Pérdidas sistema [%]* 14

Opciones de montaje fijo

Posición de montaje* Posición libre

Inclinación [*]* 35 Optimizar inclinación

Azimut [*]* 0 Optimizar inclinación y azimut

Precio electricidad fijo

Coste sistema FV [su divisa]

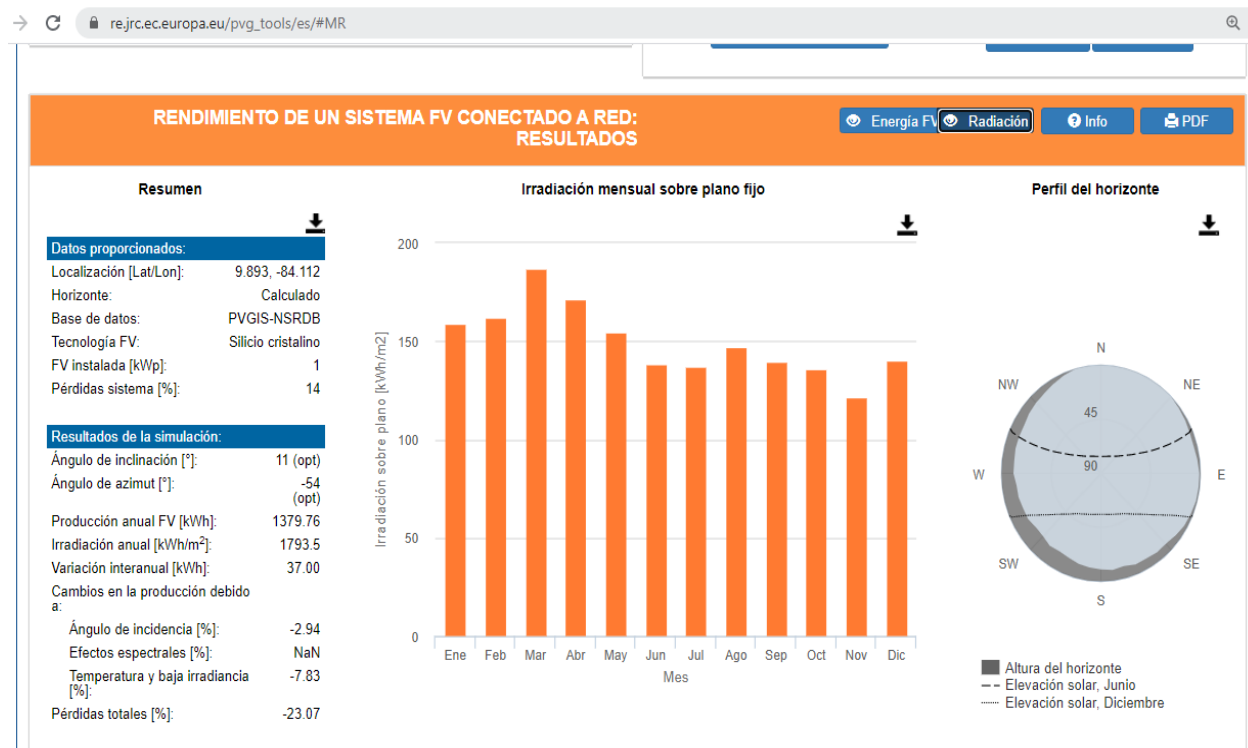
Interés [%/año]

Vida útil [años]

[👁 Visualizar resultados](#) [↓ csv](#) [↓ json](#)

Nota. En esta figura se observa donde se debe seleccionar “Conectado a la Red”, “Optimizar inclinación y acimut” y el botón de “Visualizar Resultados”, Tomado de PVGIS, 2020, (https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/#MR).

Figura 15. Imagen de los datos proporcionados por la aplicación del PVGIS



Nota. En esta figura se observa la irradiación anual, el ángulo de inclinación, el ángulo acimut y otros datos más de la radiación del lugar que se buscó, Tomado de PVGIS, 2020, (https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/#MR).

Ángulos Acimut por región

En la siguiente tabla se expone un resumen por Región y por rango de orientación de los ángulos acimut óptimos que se obtuvieron con la consulta de las irradiaciones en el PVGIS, se puede observar que la mayoría de las escuelas requieren colocar los paneles fotovoltaicos con ángulos acimut negativos, es decir, con orientación Sur-Este. Los gráficos 2 y 3, representan respectivamente todos los ángulos acimut obtenidos en la Región Central y en la Región Huertar Norte, además, la cantidad de escuelas por ángulo.

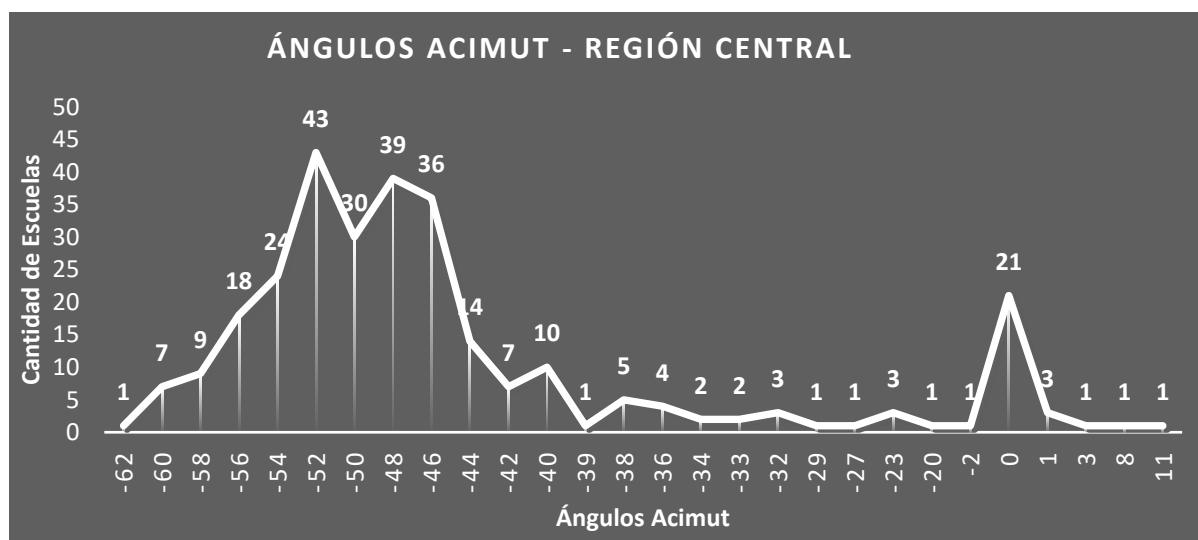
Tabla 10. *Ángulos Acimut óptimos por rangos de orientación y por región*

Región	Rango de ángulo Acimut sur-este	Cantidad escuelas	Rango de ángulo Acimut sur	Cantidad escuelas	Rango de ángulo Acimut sur-oeste	Cantidad escuelas
Central	-62° a -2°	262	0°	21	1° a 11°	6
Chorotega	-44° a -3°	161	0°	30	1° a 45°	19
Pacífico Central	-58° a -6°	132	0°	30	1°	1
Brunca	-60° a -8°	186	0°	66	1° a 9°	3
Huetar Atlántica	-58° a -1°	131	0°	10	1° a 33°	73
Huetar Norte	-52° a -1°	88	0°	10	1° a 53°	134
Total		960		167		236

Nota. Esta tabla indica un resumen de la orientación de los ángulos acimut óptimos por rangos y por Región, y la cantidad de escuelas que requieren esos ángulos. Fuente: Propia.

Gráfico 2

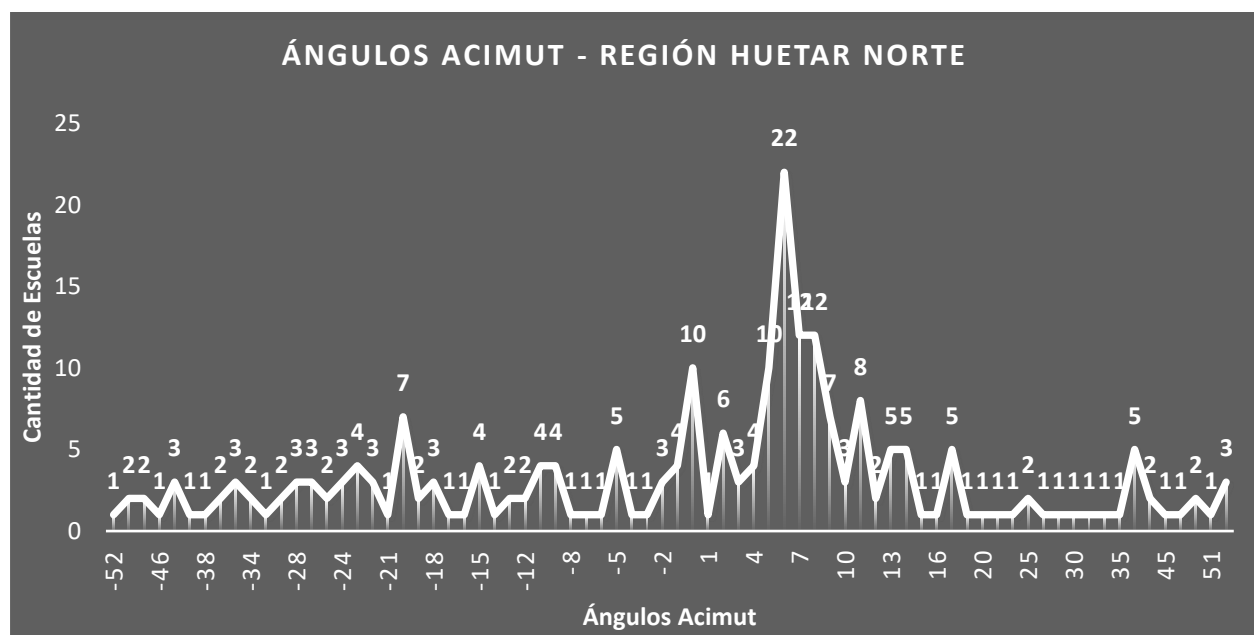
Ángulos Acimut óptimos para las escuelas de la Región Central.



Nota. Representación gráfica de la cantidad de escuelas por ángulos acimut óptimos en la Región Central. Fuente: Propia.

Gráfico 3

Ángulos Acimut óptimos para las escuelas de la Región Huetar Norte.



Nota. Representación gráfica de la cantidad de escuelas por ángulos acimut óptimos en la Región Huetar Norte. Fuente: Propia.

Creación de subzonas por rangos de irradiación en cada región

Al finalizar la tabulación de las irradiaciones anuales obtenidas del PVGIS, para cada escuela de las muestras, se procedió a calcular los promedios y las desviaciones estándar en cada región, además, se buscó el valor de las irradiaciones mínimas y las máximas (ver tabla 11); lo cual permitió determinar que los promedios obtenidos no podían ser utilizados para el cálculo de los paneles fotovoltaicos, porque las desviaciones estándar son variadas van desde 49,37 hasta 154,38 y esto generaría que los resultados estén muy desajustados respecto a lo que realmente se necesita, es decir, provocaría que los paneles para las escuelas con irradiaciones cercanas a la máxima quedarán sobre dimensionados en la cantidad requerida y para las escuelas con irradiaciones cercanas a la mínima quedarían con una deficiencia grande de producción energética por la falta de paneles que cubran la demanda de la edificación. Debido a esto, se optó por hacer otra división de las Regiones, pero en esta ocasión basándose en las intensidades de irradiación anual para formar una clasificación de las escuelas por rangos de irradiación.

La clasificación se llevó a cabo creando 6 subzonas por región, que están caracterizadas por rangos de irradiación (ver tabla 12). Con esta nueva clasificación hay Regiones que no cuentan con escuelas en todos los rangos de irradiación, por lo que se calculó solamente el promedio de las subzonas existentes en cada Región (ver tabla 13).

Tabla 11. Datos de la irradiación anual por región

Regiones	Muestra de Escuelas	Irradiación Anual (kWh/m ²)			
		Mínima	Máxima	Promedio	Desviación Estándar
Central	289	1 325,32	2 032,90	1 783,26	154,38
Chorotega	210	1 552,70	2 139,21	2 005,16	111,28
Pacífico Central	163	1 426,70	2 137,20	1 935,15	112,76
Brunca	255	1 366,76	1 960,65	1 777,85	114,41
Huetar Atlántica	214	1 501,86	1 747,80	1 665,13	49,37
Huetar Norte	232	1 335,44	1 830,77	1 658,05	83,63

Nota. Esta tabla indica los valores mínimos y máximos de las irradiaciones de la muestra de cada región antes de definir la clasificación por subzonas, además, los promedios y las desviaciones estándar calculadas para esas irradiaciones. Fuente: Propia.

Tabla 12. Clasificación de las subzonas por rangos de irradiación

Subzona	Rangos de irradiación (kWh/m ²)
1	1300 a 1450
2	1451 a 1600
3	1601 a 1750
4	1751 a 1900
5	1901 a 2050
6	2051 a 2200

Nota. Esta tabla muestra los rangos de irradiación que se le asignaron a cada subzona para la clasificación de las escuelas. Fuente: Propia.

Tabla 13. Promedios de la irradiación anual en cada región por subzona

Regiones	Promedios de las irradiaciones (kWh/m ²) de cada región por subzona					
	Subzona 1	Subzona 2	Subzona 3	Subzona 4	Subzona 5	Subzona 6
Central	1 382,32	1 552,67	1 682,47	1 833,62	1 956,58	-
Chorotega	-	1 552,70	1 683,27	1 848,95	1 984,05	2 094,24
Pacífico Central	1 426,70	1 511,77	1 706,31	1 846,51	1 980,06	2 091,90
Brunca	1 406,86	1 551,84	1 690,41	1 826,34	1 923,12	-
Huetar Atlántica	-	1 563,90	1 679,13	-	-	-
Huetar Norte	1 399,05	1 541,87	1 684,55	1 771,42	-	-

Nota. Esta tabla indica los valores promedios de las irradiaciones de las escuelas clasificadas en las subzonas de cada región. Fuente: Propia.

Cantidad de población estudiantil por subzona en cada región

Al establecer como clasificación final de las escuelas, las subzonas en cada Región, se utilizará la información del archivo de la Nómina de Centros Educativos clasificados por Dirección Regional de Educación, publicada en junio del 2019, la tabla 12 y el archivo de almacenamiento de los datos de las escuelas mostrado en la figura 12, para determinar la cantidad de alumnos por subzona en cada Región. El resultado obtenido se mostrará resumido en la siguiente tabla.

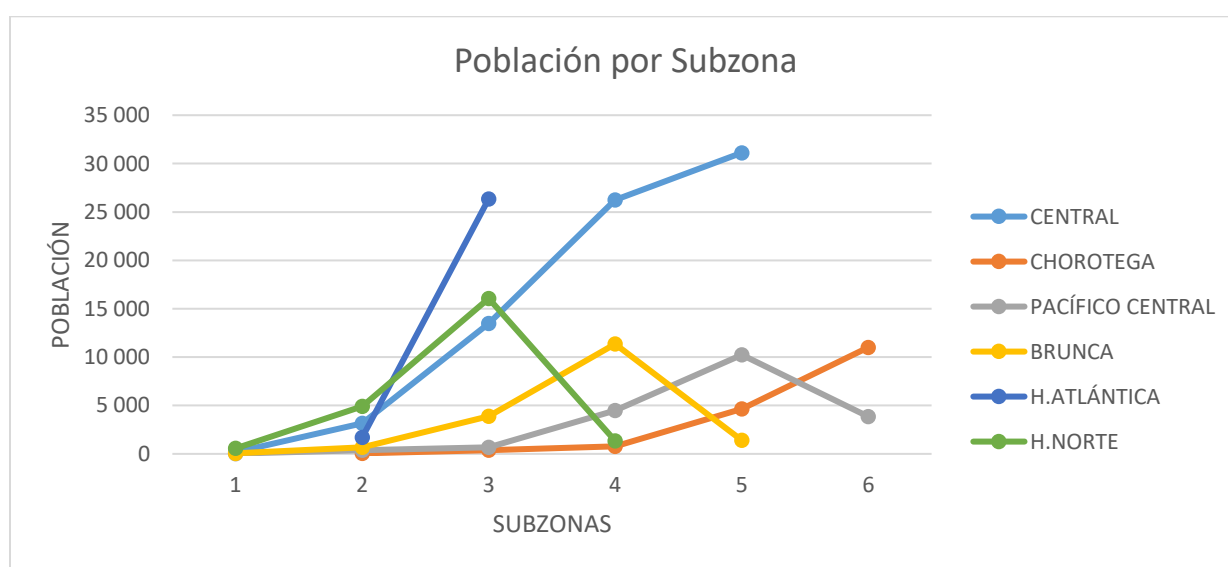
Tabla 14. Cantidad de población estudiantil por subzona en cada región

Regiones	Población estudiantil por subzona en cada Región						
	Subzona 1	Subzona 2	Subzona 3	Subzona 4	Subzona 5	Subzona 6	Total
Central	175	3 162	13 475	26 251	31 117	-	74 180
Chorotega	-	54	382	780	4 639	11 009	16864
Pacífico Central	26	372	665	4 478	10 237	3 855	19633
Brunca	61	663	3 887	11 353	1 390	-	17354
Huetar Atlántica	-	1 695	26 353	-	-	-	28048
Huetar Norte	570	4 898	16 061	1 330	-	-	22859

Nota. Esta tabla indica la de suma la cantidad de alumnos que tienen las escuelas elegidas en cada subzona por región, estos datos son extraídos de la nómina de centros educativos, publicada en junio de 2019 y el archivo de almacenamiento de los datos de las escuelas mostrado en la figura 12, Fuente: Propia.

Gráfico 4

Población estudiantil por subzona



Nota. Cantidad de alumnos que tiene cada subzona en cada región. Fuente: Propia.

Cálculo del consumo diario y mensual promedio por alumno

El cálculo de los promedios del consumo diario y mensual por alumno estarán basados en el Caso de Estudio, es decir en los datos de la Escuela Ascensión Esquivel Ibarra. Primeramente, se obtendrá el promedio del consumo mensual (ecuación 3) del caso de estudio tomando los datos de los recibos de la tabla 7, luego este consumo promedio mensual se dividirá en 24 días (ecuación 4), esto porque los estudiantes asisten a la escuela aproximadamente 22 días al mes y son los días de mayor demanda. No obstante; los 8 días restantes que no se imparten clases siempre existe un consumo, pero bastante bajo, por lo que se podría asumir que esa demanda sumada es equivalente a dos días de alto consumo. Con el resultado de esta división, que sería el consumo promedio diario del caso de estudio y los 872 alumnos que tenían el año pasado, calculamos el promedio del consumo diario por alumno (ecuación 5). Dato que será relevante recordar para los cálculos que se efectuarán más adelante.

Ecuación 3

Cálculo del consumo promedio mensual del caso de estudio según datos de los recibos de la tabla 7.

$$Promedio = \frac{2155 + 2935 + 2125 + 2723 + 2061 + 2347 + 2818 + 2744 + 2706}{9}$$

$$Promedio \approx 2\,513 \text{ kWh mensuales}$$

Ecuación 4

Cálculo del consumo promedio diario del caso de estudio según datos de los recibos de la tabla 7 y resultado de la ecuación 3.

$$Promedio = \frac{2513 \text{ kWh/mes}}{24 \text{ días}} \approx 104,70 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} \approx 104\,708,33 \frac{\text{Wh}}{\text{día}}$$

Ecuación 5

Cálculo del consumo promedio por estudiante del caso de estudio según datos de los recibos de la tabla 7 y resultado de la ecuación 4.

$$\text{Promedio} = \frac{104,70 \text{ kWh/día}}{872 \text{ alumnos}} \approx 0,12 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} \text{ alumno} \approx 120,08 \frac{\text{Wh}}{\text{día}} \text{ alumno}$$

Cálculo de la potencia total requerida en paneles por subzona

Para calcular el total de la potencia requerida en paneles, que cubra la demanda de cada subzona (P_{dc} subzona) es necesario utilizar la fórmula 5 (ecuación 8), pero primero se debe obtener los elementos de la fórmula, como lo son el Rendimiento de Referencia de Radiación Solar (Y_r en horas por día) con la fórmula 3 (ecuación 7), la demanda (E_{ac}) en Wh/día de cada subzona (ecuación 6) y el Radio de Desempeño (PR) que para los cálculos se utilizará 0,795. A modo de ejemplo se resolverán las fórmulas utilizando los datos de población estudiantil de la tabla 14 para la subzona 3 Región Central, el consumo diario promedio por estudiante (120,08 Wh/alumno) obtenido en la ecuación 5, el promedio de irradiación anual de la tabla 13 para la subzona 3 Región Central y la irradiancia de referencia o constante solar $G_o = 1000 \text{ W/m}^2$.

Ecuación 6

Cálculo de la demanda (E_{ac}) en Wh/día de la subzona 3 Región Central

$$E_{AC} = \text{Población estudiantil} * \text{Promedio de consumo diario por estudiante}$$

$$E_{AC} = 13\,475 \text{ alumnos} * 120,08 \frac{\text{Wh}}{\text{día}} \text{ alumno}$$

$$E_{AC} \approx 1\,618\,055,95 \frac{\text{Wh}}{\text{día}} \approx 1\,618,06 \frac{\text{kWh}}{\text{día}}$$

Ecuación 7

Cálculo del rendimiento de referencia de radiación solar (Y_r) en Wh/día de la subzona 3 Región Central

$$Y_r = \frac{H \text{ (irradiación de la zona)}}{G_o}$$

$$Y_r = \frac{1\,682,47 \text{ kWh/m}^2}{1000 \text{ W/m}^2}$$

$$Y_r \approx 1\,682,47 \text{ horas/año}$$

$$Y_r = \frac{1\,682,47 \text{ horas/año}}{365 \text{ días}} \approx 4,61 \text{ horas/día}$$

Ecuación 8

Cálculo de la potencia total requerida en paneles (Pdc) para la subzona 3 Región Central

$$P_{dc \text{ Subzona}} = \frac{E_{AC}}{PR * Y_r}$$

$$P_{dc \text{ Subzona}} = \frac{1\,618\,055,95 \frac{Wh}{día}}{0,795 * 4,61 \text{ horas/día}}$$

$$P_{dc \text{ Subzona}} \approx 441\,541,92 \text{ W para Subzona 3 Región Central}$$

Si se continúan haciendo estos cálculos para todas las subzonas de la Región Central se obtendrá la potencia total requerida en paneles por subzona para esta región, estos resultados se podrán observar en la tabla 15.

Cálculo de la cantidad de paneles y área que ocupan

En los cálculos anteriores se obtuvo la potencia total requerida en paneles para la subzona 3 Región Central, lo cual servirá para calcular la cantidad de paneles que requiere esa subzona para cubrir su consumo y el área que ocupan. Para este proyecto se eligió un panel de marca CanadianSolar modelo HiKu5 Mono, que produce 475 W de Potencia y mide aproximadamente 2,36 m². Para comprender el cálculo, ver la ecuación 9 y 10, donde se continuará utilizando la subzona 3 Región Central.

Ecuación 9

Cálculo de la cantidad de paneles y el área que ocuparán

$$Cantidad\ de\ Paneles = \frac{P_{dc\ Subzona}}{P_{dc\ Panel}}$$

$$Cantidad\ de\ Paneles = \frac{441\ 541,92\ W}{475\ W}$$

$$Cantidad\ de\ Paneles = 929,56 \approx 930\ paneles$$

$$\text{Área Total en Paneles} = \text{Área del Panel} * \text{Cantidad de Paneles}$$

$$\text{Área Total en Paneles} = 2,36\ m^2 * 930\ paneles$$

$$\text{Área Total en Paneles} \approx 2\ 194,80\ m^2$$

Si se repiten los cálculos de la ecuación 9 para todas las subzonas de la Región Central se obtendrán las cantidades de paneles necesarios y el área que ocuparán en cada subzona. La visualización de estos resultados se puede hacer de una forma más clara en la tabla 15.

Cálculo de factura eléctrica mensual en cada subzona por región

Para ejemplificar este cálculo se continuará utilizando la subzona 3 Región Central, entonces se ocupará el resultado obtenido de la demanda (E_{ac}) en kWh/día en la ecuación 6, es decir, 1618,06 kWh/día y el precio del kWh en la tarifa actual del ICE que está en 74,18 colones. Se aclara que la decisión de utilizar la tarifa eléctrica del ICE es por ser el mayor proveedor de energía en el país, además, la mayoría de las tarifas eléctricas de las otras compañías son superiores a las del ICE, lo que generaría que el ahorro en facturación eléctrica sea mayor.

Ecuación 10

Cálculo de la factura eléctrica mensual al precio actual del ICE, subzona 3 Región Central

$$Monto\ Factura\ Eléctrica = E_{AC} * Precio\ kWh * 24\ días$$

$$\text{Monto Factura Eléctrica} = 1\,618,06 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} * 74,18 * 24$$

$$\text{Monto Factura Eléctrica} = 2\,880\,657,38 \text{ colones}$$

Si se repiten los cálculos de la ecuación 10 para todas las subzonas de la Región Central se obtendrán los montos de las facturas eléctricas al precio actual del ICE. Los resultados de estos cálculos se pueden encontrar al final de la tabla 15.

Tabla 15. Resumen de los cálculos de las ecuaciones 6, 7, 8, 9 y 10, aplicadas en las subzonas de la Región Central

Región Central						
Subzona	1	2	3	4	5	6
Población estudiantil subzona	175	3 162	13 475	26 251	31 117	-
Demanda (Wh/día)	21 013,71	379 687,79	1 618 055,95	3 152 177,13	3 736 478,45	-
Demanda (kWh/día)	21,01	379,69	1 618,06	3 152,18	3 736,48	-
PR	0,795	0,795	0,795	0,795	0,795	-
Yr (horas/año)	1 382,32	1 552,67	1 682,47	1 833,62	1 956,58	-
Yr / día (horas/día)	3,79	4,25	4,61	5,02	5,36	-
Pdc subzona (W)	6 979,41	112 272,43	441 541,92	789 273,77	876 777,82	-
Pdc panel (W)	475	475	475	475	475	-

Región Central						
Cantidad paneles	15	237	930	1 662	1 846	-
Área del panel (m2)	2,36	2,36	2,36	2,36	2,36	-
Área total paneles (m2)	35,40	559,32	2 194,80	3 922,32	4 356,56	-
Factura mensual precio actual ICE	₡37 411,13	₡675 965,76	₡2 880 657,38	₡5 611 883,99	₡6 652 127,31	-

Nota. Esta tabla muestra un resumen de los cálculos de las ecuaciones 6, 7, 8, 9 y 10, aplicadas en las primeras 5 subzonas de la Región Central, ya que, esta Región no cuenta con escuelas que estén en el rango de irradiación de la subzona 6. Fuente: Propia.

Resumen de la medición neta sencilla anual de las subzonas de la Región Central

El siguiente cuadro resume la liquidación neta anual de energía en kWh de las subzonas de la Región Central, después de considerar la energía producida anualmente con los paneles, la demanda total durante los 200 días que aproximadamente asisten los estudiantes a clases (días de mayor consumo), la demanda total durante los 165 días restantes que no asisten los estudiantes a la escuela (días de menor consumo), la energía no utilizada subida a la red, el 49 % de energía que se puede bajar de la red y la equivalencia en días de alto consumo. El comportamiento de las otras Regiones es muy similar.

Tabla 16. Resumen de la medición neta sencilla anual de las subzonas de la Región Central

REGIÓN CENTRAL						
Subzona	1	2	3	4	5	6
Población estudiantil subzona	175	3 162	13 475	26 251	31 117	-

Demanda por día de alto consumo (kWh)	21,01	379,69	1 618,06	3 152,18	3 736,48	-
Demanda por día de bajo consumo (kWh)	5,25	94,86	404,25	787,53	933,51	-
Demanda 200 días clases (kWh)	4 202,74	75 937,56	323 611,19	630 435,43	747 295,69	-
Demanda 165 días no clases (kWh)	866,25	15 651,90	66 701,25	129 942,45	154 029,15	-
Demanda total al año (kWh)	5 068,99	91 589,46	390 312,44	760 377,88	901 324,84	-
Cantidad de paneles por instalar	15	237	930	1 662	1 846	-
Pdc paneles por subzona (W)	7 125,00	112 575,00	441 750,00	789 450,00	876 850,00	-
Energía diaria producida por paneles (kWh)	21,45	380,71	1 618,82	3 152,88	3 736,79	-
Energía total producida por paneles al año (kWh)	7 830,00	138 959,52	590 868,74	1 150 801,54	1 363 926,90	-
Energía no utilizada subida a la red (kWh)	2 761,01	47 370,07	200 556,30	390 423,66	462 602,06	-
Energía permitida para bajar de la red 49 % (kWh)	1 352,90	23 211,33	98 272,59	191 307,60	226 675,01	-
Equivalencia del 49 % en días de alto consumo (kWh)	64	61	61	61	61	-

Nota. Esta tabla muestra un resumen de los cálculos de la medición neta sencilla anual por subzona en la Región Central, es decir, la liquidación anual que se haría con la compañía eléctrica al final de cada año respecto a la energía subida a la red y la energía requerida de la red. Fuente: Propia.

Variables requeridas en los cálculos para el análisis financiero

Es probable que la implementación de este proyecto, en el nivel de todo el país, demande grandes proveedores que trabajen con precios internacionales, y por esta razón la evaluación financiera se hará basándose en los costos de instalación, producción, mantenimiento y operación

del Laboratorio Nacional de Energías Renovables de los Estados Unidos (NREL, por sus siglas en inglés), usando el tipo de cambio del dólar del Banco Central de Costa Rica al día 15 de octubre de 2020 por 605 colones y un panel solar con una vida útil de 25 años. En la tabla 17 se encontrarán los precios en dólares y colones de las variables que se van a utilizar en los cálculos.

Tabla 17. Variables por utilizar en el análisis financiero

Variable	Valor	Unidad
Promedio de inflación anual Costa Rica 2020	3 %	
Tasa de rentabilidad anual	4 %	
Tarifa eléctrica ICE (cuarto trimestre 2020)	₡ 74,18	¢ / kWh
Vida útil del panel solar HiKu5 Mono	25 años	

Variable	Precio Dólares	Unidades	Precio Colones	Unidades
Tipo cambio dólar	\$ 1,00	dólares	₡ 605,00	colones
Costo instalación	\$ 1,96	\$ / W	₡ 1 185,80	¢ / W
Costo mantenimiento y operación	\$ 0,02	\$ / W	₡ 12,10	¢ / W
Costo producción	\$ 0,08	\$ / kWh	₡ 48,40	¢ / kWh

Nota. En esta tabla se encuentran los costos de instalación, producción, mantenimiento y operación del Laboratorio Nacional de Energías Renovables de los Estados Unidos (NREL) que son las variables internacionales y el porcentaje de inflación en Costa Rica para este año y el valor actual del kWh en el ICE. Fuente: Propia.

Cálculos para el análisis financiero

Para ejemplificar como se realizaron los cálculos para el análisis financiero, se continuará utilizando como modelo la subzona 3 de la Región Central, se ocuparán datos de la tabla 15 como los Pdc de cada subzona y los montos de las facturas eléctricas, también se usarán las variables de la tabla 17 y los resultados se mostrarán ordenados en la tabla 18. El primer cálculo será la inversión inicial de la instalación de los paneles (ecuación 11), el siguiente será el costo de mantenimiento y operación por año (ecuación 12), luego el monto del ahorro de energía (ecuación 13) y el ahorro en producción (ecuación 14), y finalmente el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR).

Ecuación 11

Cálculo de la inversión inicial en la instalación de los paneles fotovoltaicos de la subzona 3 Región Central

$$\text{Inversión Inicial} = \text{Pdc Subzona} * \text{Costo de Instalación}$$

$$\text{Inversión Inicial} = 441\,541,92 \text{ W} * 1\,185,80 \text{ ¢/W}$$

$$\text{Inversión Inicial} \approx \text{¢ } 523\,580\,409,60$$

Ecuación 12

Cálculo del costo de mantenimiento y operación anual de la subzona 3 Región Central

$$\text{Mantenimiento y Operación Año 1} = \text{Pdc Subzona} * \text{Costo de Mant. y Operación}$$

$$\text{Mantenimiento y Operación Año 1} = 441\,541,92 \text{ W} * 12,10 \text{ ¢/W}$$

$$\text{Mantenimiento y Operación Año 1} = \text{¢ } 5\,342\,657,24$$

$$\text{Mant. y Operación Año 2} = \text{Mant. y Operación Año 1} * (1 + \% \text{ Inflación Anual})$$

$$\text{Mant. y Operación Año 2} = \text{¢ } 5\,342\,657,24 * (1 + 3 \%)$$

$$\text{Mantenimiento y Operación Año 2} = \text{¢ } 5\,502\,936,96$$

Para el mantenimiento de los años siguientes, se continúa repitiendo la misma fórmula, hasta llegar al año 25.

Ecuación 13

Cálculo del ahorro en energía anual de la subzona 3 Región Central

$$\text{Ahorro en Energía Anual} = \text{Factura Mensual} * 12 \text{ meses}$$

$$\text{Ahorro en Energía Anual} = \text{¢ } 2\,880\,657,38 * 12 \text{ meses}$$

$$\text{Ahorro en Energía Anual} = \text{¢ } 34\,567\,888,51$$

Ecuación 14

Cálculo del ahorro en producción anual de la subzona 3 Región Central

Ahorro en Producción Anual

$$= \text{Demanda} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{día}} \right) * \text{Días de no consumo} * \text{Factura Mensual} \\ * \text{Costo de Producción}$$

$$\text{Ahorro en Producción Anual} = 1618,06 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} * 90 \text{ días sin clases} * 48,4 \text{ ¢/kW}$$

$$\text{Ahorro en Producción Anual} = \text{¢ } 7\,048\,251,73$$

Ecuación 15

Cálculo del resultado de la operación anual de la subzona 3 Región Central

Resultado Operación Anual Año 1

$$= \text{Ahorro en Energía Anual Año 1} + \text{Ahorro en Producción Anual Año 1} \\ - \text{Mant. y Operación Anual Año 1}$$

$$\text{Resultado Operación Anual Año 1} = \text{¢ } 34\,567\,888,51 + \text{¢ } 7\,048\,251,73 - \text{¢ } 5\,342\,657,24$$

$$\text{Resultado Operación Anual Año 1} = \text{¢ } 36\,273\,483,00$$

Para el resultado de la operación anual de los años siguientes, se continúa repitiendo la misma fórmula, hasta llegar al año 25.

Ecuación 16

Cálculo del déficit o superávit de la subzona 3 Región Central

$$\text{Déficit o Superávit Año 0} = -(\text{Total Inversión Inicial})$$

$$\text{Déficit o Superávit Año 0} = -(523\,580\,409,60)$$

$$\text{Déficit o Superávit Año 1} = \text{Déficit o Superávit Año 0} + \text{Total Ingresos}$$

$$\text{Déficit o Superávit Año 1} = -(523\,580\,409,60) + 36\,273\,483,00$$

$$\text{Déficit o Superávit Año 1} = -(487\,306\,926,60)$$

Para el resultado del déficit o superávit a operación anual de los años siguientes, se continúa repitiendo la misma fórmula, hasta llegar al año 25.

Tabla 18. Resumen del análisis financiero de la Región Central

REGIÓN CENTRAL						
Sub zonas	Escuelas	Población	Inversión Inicial	Plazo de Recuperación	VAN	TIR
1	7	175	₡ 8 276 182,41	19 años, 119,44 días	-₡ 1 581 871,86	1,94 %
2	41	3 162	₡ 133 132 650,79	16 años, 205,35 días	-₡ 9 352 776,44	3,27 %
3	61	13 475	₡ 523 580 409,60	14 años, 350,92 días	₡ 11 445 060,75	4,22 %
4	104	26 251	₡ 935 920 842,38	13 años, 169,40 días	₡ 120 845 127,59	5,27 %
5	76	31 117	₡ 1 039 683 142,43	12 años, 166,90 días	₡ 224 968 028,62	6,08 %
6	-	-	-	-	-	-

Tabla 19. Resumen del análisis financiero de la Región Chorotega

REGIÓN CHOROTEGA						
Sub zonas	Escuelas	Población	Inversión Inicial	Plazo de Recuperación	VAN	TIR
1	-	-	-	-	-	-
2	1	54	₡ 2 273 569,06	16 años, 205,20 días	-₡ 159 673,77	3,27 %
3	9	382	₡ 14 835 809,11	14 años, 347,69 días	₡ 332 733,39	4,23 %
4	19	780	₡ 27 578 499,79	13 años, 120,20 días	₡ 3 861 043,07	5,37 %
5	89	4 639	₡ 152 852 526,48	12 años, 92,38 días	₡ 36 054 124,53	6,26 %
6	92	11 009	₡ 343 656 051,80	11 años, 182,43 días	₡ 107 930 174,08	6,96 %

Tabla 20. Resumen del análisis financiero de la Región Pacífico Central

REGIÓN PACÍFICO CENTRAL							
Sub zonas	Escuelas	Población	Inversión Inicial	Plazo de Recuperación	VAN	TIR	
1	1	26	₪ 1 191 358,95	18 años, 187,59 días	-₪ 190 194,23	2,30 %	
2	5	372	₪ 16 086 411,01	17 años, 53,03 días	-₪ 1 596 993,09	2,96 %	
3	9	665	₪ 25 478 035,35	14 años, 256,55 días	₪ 987 941,23	4,39 %	
4	44	4 478	₪ 158 538 772,59	13 años, 127,99 días	₪ 21 920 328,83	5,35 %	
5	69	10 237	₪ 337 984 912,31	12 años, 103,08 días	₪ 78 762 981,47	6,23 %	
6	35	3 855	₪ 120 471 900,65	11 años, 187,90 días	₪ 37 636 013,83	6,94 %	

Tabla 21. Resumen del análisis financiero de la Región Brunca

REGIÓN BRUNCA							
Sub zonas	Escuelas	Población	Inversión Inicial	Plazo de Recuperación	VAN	TIR	
1	5	61	₪ 2 834 537,01	18 años, 316,64 días	-₪ 492 435,12	2,14 %	
2	18	663	₪ 27 929 855,30	16 años, 209,51 días	-₪ 1 978 582,42	3,27 %	
3	57	3 887	₪ 150 322 980,37	14 años, 319,13 días	₪ 4 132 548,67	4,28 %	
4	151	11 353	₪ 406 379 228,76	13 años, 193,11 días	₪ 50 371 979,15	5,22 %	
5	24	1 390	₪ 47 250 888,92	12 años, 261,10 días	₪ 9 102 160,13	5,86 %	
6	-	-	-	-	-	-	

Tabla 22. Resumen del análisis financiero de la Región Huetar Atlántica

REGIÓN HUETAR ATLÁNTICA						
Sub zonas	Escuelas	Población	Inversión Inicial	Plazo de Recuperación	VAN	TIR
1	-	-	-	-	-	-
2	26	1 695	₡ 70 853 756,47	16 años, 149,58 días	-₡ 4 412 988,01	3,36 %
3	188	26 353	₡ 1 026 003 820,68	14 años, 364,42 días	₡ 19 992 182,06	4,20 %
4	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-

Tabla 23. Resumen del análisis financiero de la Región Huetar Norte

REGIÓN HUETAR NORTE						
Sub zonas	Escuelas	Población	Inversión Inicial	Plazo de Recuperación	VAN	TIR
1	8	570	₡ 26 634 511,00	19 años, 3,83 días	-₡ 4 774 739,95	2,08 %
2	35	4 898	₡ 207 669 734,41	16 años, 259,98 días	-₡ 16 180 883,77	3,19 %
3	176	16 061	₡ 623 289 694,07	14 años, 342,54 días	₡ 14 545 788,58	4,24 %
4	13	1 330	₡ 49 083 042,48	14 años, 14,68 días	₡ 4 171 230,17	4,84 %
5	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-

Tabla 24. Tabla resumen de la tasa interna de retorno (TIR) de cada subzona por región

TIR POR SUBZONA						
Subzonas	Región Central	Región Chorotega	Región Pacífico Central	Región Brunca	Región Huetar Atlántica	Región Huetar Norte
1	1,94 %	-	2,30 %	2,14 %	-	2,08 %
2	3,27 %	3,27 %	2,96 %	3,27 %	3,36 %	3,19 %
3	4,22 %	4,23 %	4,39 %	4,28 %	4,20 %	4,24 %
4	5,27 %	5,37 %	5,35 %	5,22 %	-	4,84 %
5	6,08 %	6,26 %	6,23 %	5,86 %	-	-
6	-	6,96 %	6,94 %	-	-	-

Gráfico 5

Tasa interna de retorno (TIR) de cada subzona por región

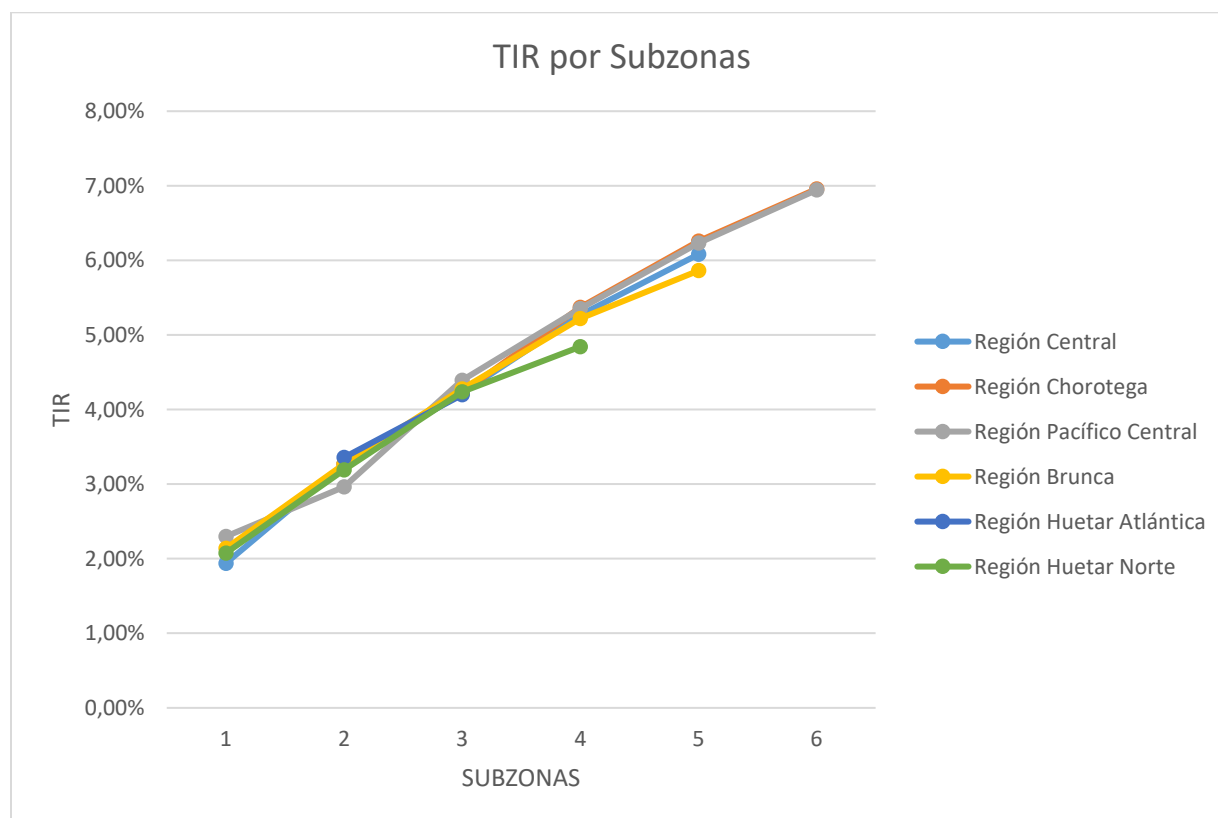


Tabla 25. Resumen del valor actual neto (VAN) de cada subzona por región

VAN POR SUBZONA						
Sub zonas	Región Central	Región Chorotega	Región Pacífico Central	Región Brunca	Región Huetar Atlántica	Región Huetar Norte
1	-¢1 581 871,86	-	-¢190 194,23	-¢492 435,12	-	-¢4 774 739,95
2	-¢9 352 776,44	-¢159 673,77	-¢1 596 993,09	-¢1 978 582,42	-¢4 412 988,01	-¢16 180 883,77
3	¢11 445 060,75	¢332 733,39	¢987 941,23	¢4 132 548,67	¢19 992 182,06	¢14 545 788,58
4	¢120 845 127,59	¢3 861 043,07	¢21 920 328,83	¢50 371 979,15	-	¢4 171 230,17
5	¢224 968 028,62	¢36 054 124,53	¢78 762 981,47	¢9 102 160,13	-	-
6	-	¢107 930 174,08	¢37 636 013,83	-	-	-

Gráfico 6

Valor actual neto (VAN) de cada subzona por región

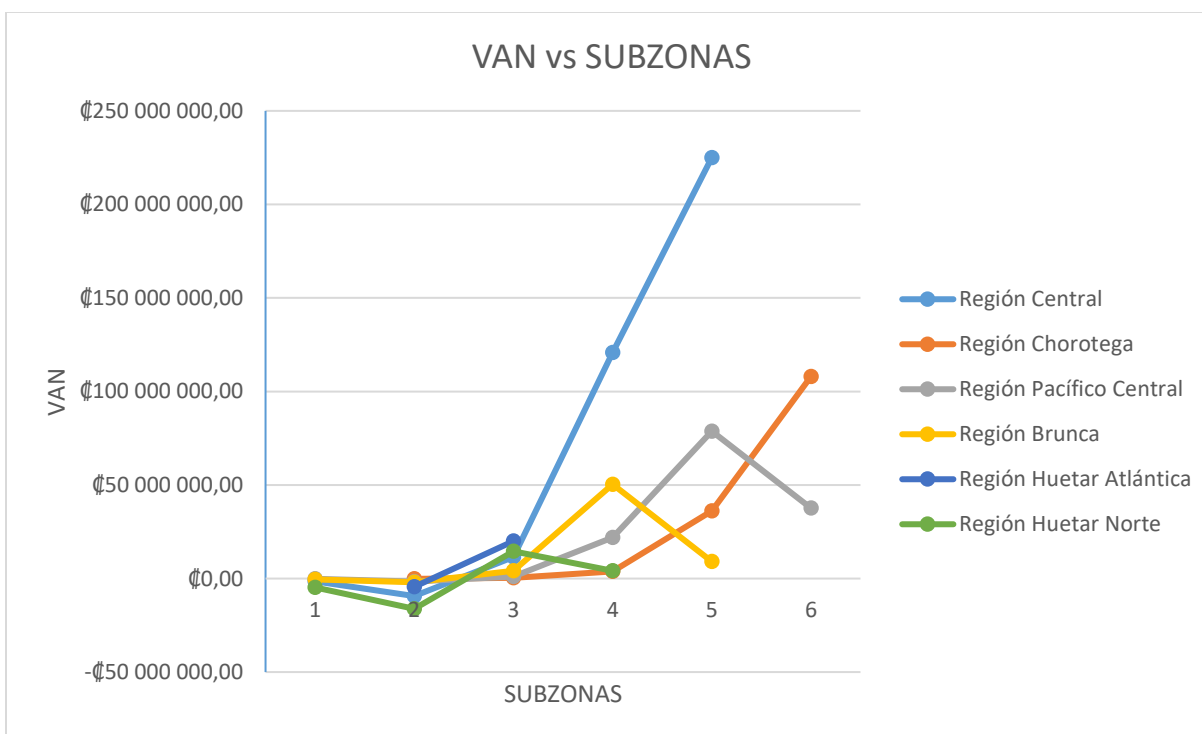


Gráfico 7

Valor actual neto (VAN) de cada subzona por región

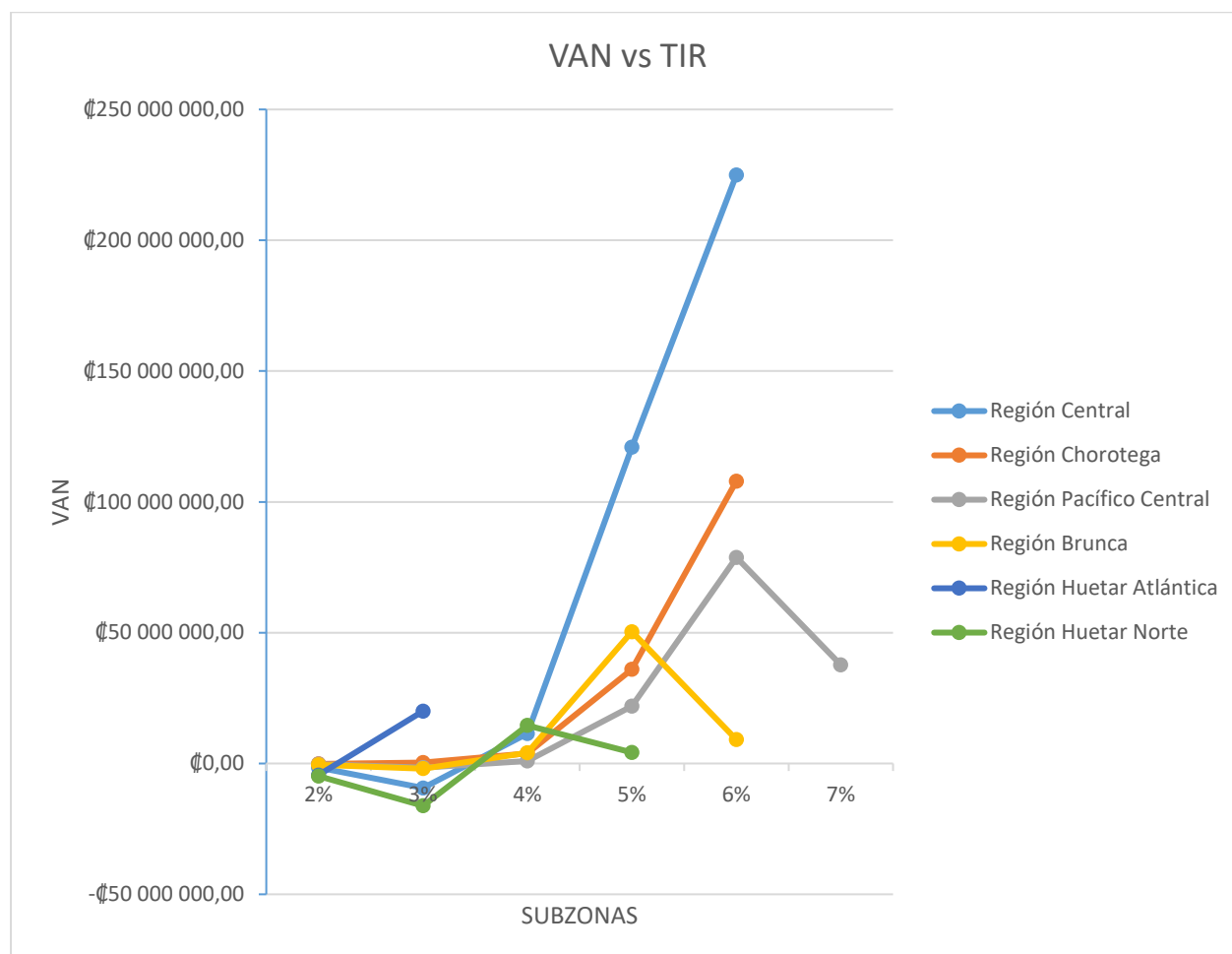
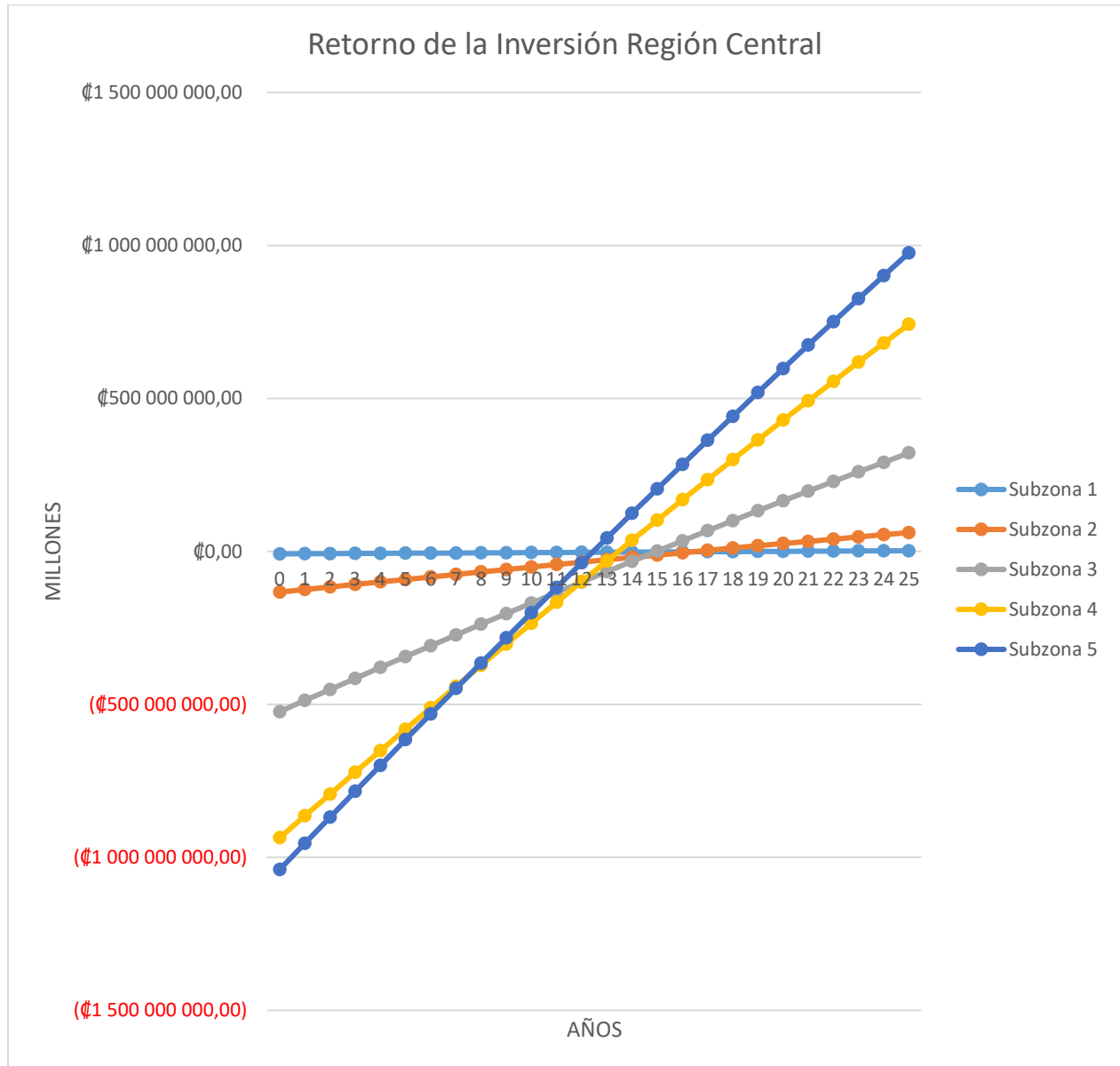


Gráfico 8

Gráfico de la tabla de la figura 17, retorno de la inversión durante vida útil del panel en cada subzona de la Región Central



Análisis de resultados

La agrupación de las 27 direcciones regionales de educación en las 6 regiones socioeconómicas del país dio como resultado que la Región Central reunió la mayoría de las DRE conservando 11 de ellas, la Región Chorotega agrupó 4 y las regiones Pacífico Central, Brunca, Huetar Atlántica y Huetar Norte reunieron 3 DRE cada una.

Para que el análisis de este proyecto pudiera llevarse a cabo en el tiempo otorgado, sin perder la perspectiva realista, fue necesario recurrir a la teoría de la probabilidad y la estadística, para calcular, de las 3 707 escuelas del país, una muestra fiable por Región. Las muestras calculadas conservaron entre 163 y 289 centros educativos de nivel escolar (ver detalle en tabla 8), para un total de 1 363 escuelas, lo que es equivalente al 36,77 %, un poco más de la tercera parte del total de instituciones escolares.

En la elección de las escuelas, en el mapa de SIGMEP, el único parámetro de selección que se tomó en cuenta fue la ubicación homogénea en el mapa, esto con el propósito de que los parámetros solares encontrados en cada punto fueran también una representación de la irradiación incidente en de los centros educativos a su alrededor.

Al utilizar la ubicación de las escuelas seleccionadas en cada Región, para obtener la irradiación anual en esos lugares, se comprobó que Costa Rica cuenta con radiación solar muy variada, esto debido a su geografía física, lo cual, llevó a crear subzonas de irradiación por Región, con el fin de clasificar las escuelas en rangos donde cada muestra se desviara lo menos posible del promedio de las irradiaciones de ese conjunto, para que dentro del mismo rango la cantidad de paneles se mantuviera, aunque la irradiación de la escuela estuviera en el mínimo, el máximo o el promedio de la subzona.

En total se crearon seis rangos de irradiación que van desde los 1300 kWh/m² hasta los 2200 kWh/m² (en detalle se pueden observar en la tabla 12); estas categorías se aplicaron en todas las Regiones lo que dio como resultado que la Región Central y la Región Brunca no cuentan con escuelas en el rango de irradiación de la subzona 6, en la Región Chorotega esto se presenta con la subzona 1, la Región Pacífico Central es la única que cuenta con todas las subzonas, para la Región Huetar Atlántica sólo se cuenta con las subzonas 2 y 3, y por último la Región Huetar Norte no tiene centros educativos escolares en los rangos de irradiación que abarcan las subzonas 5 y 6.

Con los ángulos acimut obtenidos de la investigación de las irradiaciones en el PVGIS, se determinó que la mayoría de las escuelas van a requerir instalar sus paneles fotovoltaicos con orientaciones negativas para aprovechar la irradiación diaria al máximo, eso quiere decir, que se colocarían dirigidos hacia el sur-este. Otra cantidad significativa de centros educativos escolares (ver detalles en tabla 10), necesitarían ubicar los paneles fotovoltaicos con dirección sur-oeste para beneficiarse con irradiaciones diarias eficientes que producirán la energía requerida y la menor cantidad de escuelas va a demandar una orientación directa al Sur para obtener este beneficio.

Ahora bien, como la información sobre la demanda de energía, a la que se tuvo acceso se limitó a un Caso de Estudio y a los consumos eléctricos que este tuvo durante los meses de marzo a noviembre de 2019 se utilizó esta información para calcular el promedio de la demanda eléctrica mensual en 2513 kWh y para el consumo diario se dividió entre 24 días, ya que, las clases son impartidas por aproximadamente 22 días al mes, momento en que el consumo es mayor y los 8 días restantes del mes el consumo es mínimo, por lo que se asume que la demanda de esos días es equivalente a 2 días de alto consumo y eso da como resultado los 24 días en que se dividió el consumo promedio mensual para obtener 104,70 kWh diarios, luego al dividir esta cifra entre los 872 alumnos del caso de estudio se obtiene que el consumo promedio diario por alumno es de 0,12 kWh o 120,08 Wh, dato que luego se utilizó para el cálculo de los paneles.

Tomando como referencia el uso de paneles solares con características similares a las del CanadianSolar modelo HiKu5 Mono, que produce 475 W de potencia y mide aproximadamente 2,36 m² (2,252 x 1,048 m), el cual fue utilizado en esta investigación; es factible afirmar la posibilidad técnica y física de instalar paneles solares en las escuelas del país, ya que, por más pequeña que sea la escuela, es decir un aula, y aunque tenga el máximo de estudiantes permitidos por aula que son 30, siempre cuentan con un mínimo de área del salón de clases de 45 m² (6 x 7,5 m), lo que implica un techo de dimensiones similares. Para esta cantidad de estudiantes que consumen alrededor de 3,60 kWh/día de energía y considerando la subzona 1 de menor irradiancia, se requerirían 1196,31 W de panel, es decir 3 paneles, los cuales ocupan un área de 7,08 m² y si se calcula para la subzona 6 de mayor irradiancia, se necesitarían 789,64 W de panel, disminuyendo la cantidad a 2 paneles, que ocupan un área de 4,72 m².

Continuando con las dimensiones por aula anteriores y la irradiancia de la subzona 1, si distribuimos los 45 m² acomodando las medidas de los paneles se podrían colocar 3 filas de 5 paneles (15 paneles), 3 paneles por 2,252 m serían 6,756 m, acomodados hacia el lado largo del

techo del aula, y 5 paneles por 1,048 m, serían 5,240 m, acomodados hacia el lado ancho del techo. Estos 15 paneles equivalen a 7125 W de potencia de panel, aproximadamente 21,37 kWh/día de energía, lo que alcanzaría para cubrir el consumo de 178 alumnos.

Si se hace el análisis para la subzona 3 de la Región Central (ver tabla 15) que tenía una población de 13 475 estudiantes, se deduce que con la demanda aproximada de 1618,06 kWh/día de energía, se requiere tener 441 541,92 W de panel, alrededor de 930 paneles, y utilizando el arreglo anterior de 15 de ellos por salón de clase, se ocuparían los techos de 62 aulas para instalarlos.

Como parte de los cálculos financieros, se tomó la decisión de utilizar únicamente la tarifa eléctrica vigente en el último trimestre del 2020 del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), para aproximar los montos de las facturas eléctricas que se ahorrarían con la instalación de los paneles fotovoltaicos. Esta decisión está basada en dos razones, la primera debido a que el ICE es el proveedor de energía con mayor cobertura en el país, y la segunda porque la mayoría de las tarifas eléctricas de las otras compañías son superiores a las del ICE, lo que generaría que el ahorro en facturación eléctrica sea mayor.

Además, para la aproximación de los costos de instalación, producción, operación y mantenimiento que se generarían para la implementación de este proyecto, se manejaron los precios del Laboratorio Nacional de Energías Renovables de los Estados Unidos (NREL), previendo que al ser un proyecto en el nivel país, este requeriría que grandes empresas participen, las cuales, utilizarían precios internacionales como los establecidos por el NREL. Estos precios se encuentran en dólares por lo que se pasaron a colones utilizando el tipo de cambio del Banco Central de Costa Rica de 605 colones por dólar al día 15 de octubre de 2020 (ver datos en tabla 17).

El análisis financiero también requirió de un promedio de inflación anual en Costa Rica del 3,00 %, lo que delimitó el tiempo de recuperación de la inversión a lo presentado en las tablas de la 18 a la 23, en la columna de Plazo de Recuperación. En estas tablas se puede verificar que los años de recuperación de la inversión son prácticamente los mismos en cada número de subzona de las diferentes regiones, es decir; todas las subzonas 1 tienen su plazo de recuperación de la inversión entre los años 18 y 19 de la vida útil de los paneles, para las subzonas 2 esto se daría entre el año 16 y el 17, en las subzonas 3 se tendría en el año 14, para las subzonas 4 la recuperación se vería entre los años 13 y 14, las subzonas 5 se mantienen todas en el año 12 y para las subzonas 6 este retorno de la inversión se estaría dando a mediados del año 11.

Refiriéndose a la tasa interna de retorno de la investigación, se observa en la tabla 24 y el gráfico 5, que el comportamiento de los TIR se mantiene similar por subzona indistintamente de la Región a la que pertenezcan y crece aproximadamente en un punto porcentual conforme se aumenta el número de la subzona. Si se redondean las tasas obtenidas se define que en las subzonas 1 tienen una tasa interna de retorno del 2 %, las subzonas 2 dan como resultado un 3 % y así sucesivamente hasta llegar a un 7 % en las subzonas 6. Evidentemente invertir en cualquiera de las subzonas va a generar una ganancia, aunque sea baja; pero invertir en proyectos tiene su riesgo y si la rentabilidad no es mejor que la ofrecida por una entidad bancaria, no es recomendable correr el riesgo. Lo cual, hace que sea mejor invertir en las escuelas ubicadas en las subzonas de la 3 en adelante, que es cuando el porcentaje del TIR obtenido se vuelve competitivo con las tasas de interés ofrecidas por los bancos, esto se basó en una tasa de rentabilidad de referencia del 4,00 % del Banco de Costa Rica y el Banco Nacional de Costa Rica.

Al examinar el Valor Actual Neto (VAN) calculado en todas las subzonas de las Regiones, resumidos en la tabla 25 y el gráfico 6, se confirma que al traer los ingresos y egresos del proyecto a valor presente en las escuelas de las subzonas 1 y 2, es como tener pérdidas en el presente si se implementa el proyecto. Todo lo contrario, sucede en las demás subzonas, donde se contaría con ganancias, unas más significativas que otras.

Al analizar en conjunto las variables del TIR y el VAN, asociadas al Plazo de Recuperación y desde un punto de vista social, en los que se pretende abarcar a la mayor población; se puede determinar que la implementación del proyecto debería iniciarse con las escuelas de la subzona 5 de la Región Central, donde se llegaría a la mayor cantidad de estudiantes, en menor cantidad de escuelas, con un plazo de recuperación de la inversión de 12 años y 166,90 días, casi la mitad de la vida útil de los paneles, lo que equivale a una tasa interna de retorno del 6,08 % y un valor actual neto en colones de 224 928 028,62.

Las siguientes subzonas, con las que se podría continuar, serían la subzona 3 de la Región Huetar Atlántica por ser la segunda con mayor población estudiantil (26 353), pero sería más conveniente la subzona 4 de la Región Central, que teniendo como 100 alumnos menos, genera un VAN 6 veces mayor que el de la subzona 3 (R.H. Atlántica), por ende, también tiene un TIR de un punto porcentual mayor (5,27 %). Todo este mejor rendimiento se debe a que la irradiación en la subzona 4 (R. Central) es mayor que la irradiación en la subzona 3 (R. H. Atlántica), lo que implica una menor cantidad de paneles requeridos.

Si en este caso se orienta la balanza a lo social, queriendo abarcar mayor cantidad de estudiantes sin importar si hay un VAN positivo, la ruta de implementación que se debe continuar sería la subzona 3 de la Región Huetar Norte con 16 061 estudiantes, luego la subzona 3 (R. Central) con 13 475 alumnos, la subzona 4 de la Región Brunca con 11 353 educandos, siguiendo con la subzona 6 de la Región Chorotega que cuenta con 11 009 estudiantes, la subzona 5 de la Región Pacífico Central con 10 237 alumnos, subzona 2 (R. H. Norte) para 4 898 estudiantes, subzona 5 (R. Chorotega) con 4 639 educandos, subzona 4 (R. Pacíf. Central) con 4 478 alumnos y así sucesivamente.

Retomando la parte económica, queriendo implementar en las Subzonas con mayor VAN y mejor TIR, el recorrido a seguir después de la Subzona 4 (R. Central), sería Subzona 6 (R. Chorotega) con un VAN de 107 930 174,08 colones (TIR 6,96 %), Subzona 5 (R. Pacíf. Central) con VAN igual a 78 762 981,47 colones (TIR 6,23 %), Subzona 4 (R. Brunca) con 50 371 979,15 colones de VAN (TIR 5,22 %), Subzona 6 (R. Pacíf. Central) con 37 636 013,83 colones de VAN (6,95 %), Subzona 5 (R. Chorotega) de 36 054 124,53 colones de VAN (TIR 6,26 %) y así sucesivamente.

Finalmente, es importante analizar el resultado de la Medición Neta Sencilla en cada región, pero a modo de ejemplo se utilizará la Región Central como modelo de lo sucedido en las demás regiones. Para este análisis se requieren los datos que aparecen resumidos en la tabla 16, donde podemos observar que las cantidades de paneles requeridos en cada subzona producirán anualmente más energía de la requerida en las escuelas de cada Región; aproximadamente se está produciendo entre un 33 % y un 35 % adicional a lo demandado.

Como esta energía es subida a la red y de acuerdo con los lineamientos del Reglamento de Generación Distribuida para Autoconsumo con Fuentes Renovables del Modelo de Contratación Medición Neta Sencilla, sólo es permitido bajar de la red el 49 % de lo subido, se tendría a favor para descargar de la red la demanda de aproximadamente 61 días de alto consumo. De esta energía es probable que una parte mínima se aproveche en los meses que el consumo supere lo promediado, pero la energía que no se utilizaría se consideraría como una pérdida del proyecto.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Se demostró que la delimitación geográfica de las direcciones regionales de educación que utiliza el Ministerio de Educación Pública para administrar los centros educativos es compatible para ser reorganizadas en las regiones socioeconómicas de Costa Rica. Lo cual, permitió visualizar, de una forma más sencilla, los límites geográficos entre los que se podía encontrar cada escuela, incluso hasta cada Dirección Regional de Educación, ya que, la división geográfica de las regiones es más conocida, de uso común y en caso de implementarse el proyecto, como es una solución en el nivel país, entraría el Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (MIDEPLAN) a coordinar el desarrollo del proyecto basándose en las regiones socioeconómicas.
- Se logró establecer una aproximación del consumo eléctrico diario por alumno de 0,12 kWh para caracterizar la infraestructura educativa en términos de la demanda energética, cantidad de escuelas y cantidad de alumnos, todo esto basados en la facturación de marzo a noviembre de 2019 y la cantidad de alumnos de un caso de estudio. El cual, sirvió como referencia para los cálculos de la demanda energética de las escuelas según la cantidad de alumnos con que contaba cada institución en la Nómina de Centros Educativos del Ministerio de Educación Pública en el 2019.
- El conjunto de las muestras calculadas para cada Región representó el 36,77 % del total de escuelas que tiene el país, lo que es equivalente a 1 363 centros educativos. Con esta cantidad de escuelas analizadas se tiene un 95 % de certeza que, al generalizar los resultados obtenidos al resto de instituciones educativas, se van a encontrar datos muy similares al de este proyecto, y que podrían presentar apenas un 5 % de error con respecto a la realidad. La distribución proporcional de cada muestra en las direcciones regionales de educación que le corresponden a cada Región permitió que la investigación abarcara homogéneamente todo el territorio nacional.
- Al consultar las irradiaciones solares anuales de cada sitio donde se ubican las escuelas que se eligieron como muestra en cada Región, se detectó que tenían diferencias considerables a pesar de encontrarse en zonas muy cercanas, lo cual no permitió que se asignara una irradiación promedio a cada Región, ya que, si esto se hacía, los cálculos de los paneles entregarían

resultados muy desajustados tanto en sobredimensionamiento de la cantidad requerida como en la falta de ellos para cubrir la demanda.

- Caso contrario fue el de los ángulos acimut que al mapear la incidencia solar, se encontró que el conocimiento empírico de que los paneles fotovoltaicos deben estar orientados directamente al sur no es tan realista, ya que en esta investigación se encontró que 960 escuelas de las 1 363 analizadas, efectivamente la mayoría, se ubican en zonas donde va ser necesario que se instalen los paneles con ángulo negativo, es decir; con orientación sur-este, para aprovechar al máximo la irradiación de la zona. Otras 236 instituciones van a requerir una orientación sur-oeste y apenas 167 centros educativos van a ubicar sus paneles con orientación totalmente al sur.
- Con la creación de los seis escenarios o subzonas por rangos de irradiación solar anual, que van desde los 1300 hasta los 2000 kWh/m², separados por grupos de 150 kWh/m² (para el detalle completo ver tabla 12), se logró clasificar las escuelas de modo que la incidencia de irradiación de cada ubicación, se desviara lo menos posible del promedio de las irradiaciones de cada conjunto, para que dentro del mismo rango la cantidad de paneles fuera estable, aunque la irradiación de la escuela se encontrara en cualquiera de los extremos de la subzona o cerca del promedio.
- Se confirmó que es viable instalar los paneles requeridos en cada escuela de los escenarios de irradiación solar, en los 45 m² de área utilizable que tienen como mínimo los techos de las aulas; con la única condición de que los paneles a instalar sean similares al CanadianSolar modelo HiKu5 Mono, que produce 475 W de potencia y mide aproximadamente 2,36 m², ya que, por cada 30 alumnos, en el escenario más crítico de irradiación anual, que sería el de menor cantidad de kWh/m², sólo se requieren 3 paneles para cubrir la demanda.
- Financieramente, se demostró que también es factible y rentable instalar paneles solares fotovoltaicos, en las subzonas con mayor cantidad de estudiantes, ya que los valores actuales netos calculados a los 25 años de vida útil de los paneles, se comportaron directamente proporcional a la densidad de la población estudiantil, eso quiere decir que las escuelas con mayor población van a ahorrarse más cantidad de dinero al final de la vida útil del proyecto. Las tasas internas de retorno se relacionaron más con el tipo de subzona, es decir; con la cantidad de irradiación del sitio, a mayor irradiación mayor porcentaje de la tasa de recuperación de la inversión, por lo que en este caso las subzonas de la 3 en adelante, se vuelven competitivas con las tasas de interés que ofrecen los bancos estatales en el plazo de

un año. Otro parámetro que también se relacionó con la irradiación de las subzonas fue el plazo de recuperación de lo invertido, entre más alta sea la irradiación del lugar menor será en la cantidad de años en que se recuperaría la inversión.

- Con el análisis del resultado de la medición neta sencilla en cada Región se determinó que anualmente se produce de más, entre un 33 % y un 35 % de energía con respecto a lo demandado, este excedente de producción se subirá a la red y si fuera necesario ocupar el 49 % que es permitido bajar de la red, sería equivalente al consumo de aproximadamente 61 días de alto consumo. De lo cual, la mayoría de energía no se aprovecharía y se consideraría como una pérdida del proyecto.

Recomendaciones

Se recomienda hacer un estudio de las estructuras de las escuelas para verificar que los techos soporten el peso de los posibles paneles fotovoltaicos que se instalen, o para sustituir los techos por paneles.

Preferiblemente, se recomienda comenzar con las escuelas que demuestren tener un alto consumo, ya que el análisis sólo se pudo realizar con una institución de altos consumos y probablemente existen escuelas que no cuenten con el equipamiento.

Es recomendable no dejar de lado el mantenimiento de los equipos del sistema fotovoltaico, principalmente el de los paneles para así garantizar los 25 años de vida útil de los dispositivos y poder obtener los resultados financieros demostrados en este proyecto.

También se recomienda contratar a una empresa con amplia experiencia en el mercado de la energía fotovoltaica con paneles, ya que esto garantizará que todos los trámites, la instalación, el mantenimiento y corrección de eventualidades sea de calidad y con pronta respuesta.

CAPÍTULO VI: PROPUESTA

Propuesta

Basado en la evaluación y los resultados obtenidos, se propone que la implementación del sistema fotovoltaico sea conectado a la red, con el fin de garantizar que los centros educativos permanezcan con energía en caso de alguna falla en los paneles y para evitar incurrir en gastos de sistemas de almacenamiento de la energía producida, ya que estos encarecerían el proyecto y requerirían de una serie de requisitos como lo es el espacio para tener las baterías y de equipos de climatización que aseguren la vida útil de ellas, la cual es menor que la de los paneles solares.

También la ejecución del proyecto debe realizarse con paneles fotovoltaicos iguales o con características similares al CanadianSolar Hiku5 Mono de 475 W, con dimensiones son 2252 x 1048 x 35 mm, para garantizar la producción de energía sin ocupar más espacio del requerido con este tipo de panel.

Se propone dar inicio al proyecto con las subzonas o regiones de menor tiempo de recuperación y que por ende van a tener una rentabilidad mayor, esto con la idea de que los proyectos puedan generar una posibilidad de reinvertir las ganancias en otros centros educativos que no hayan sido abarcados en las primeras etapas del proyecto.

Otro punto de la propuesta sería que se invierta en las escuelas que están siendo remodeladas en su totalidad, ya que esto garantizaría que las estructuras de las edificaciones van a soportar el peso de los paneles y que, además, la instalación eléctrica sería adecuada para el sistema de paneles fotovoltaicos.

REFERENCIAS


- Alonso Lorenzo, J. (2019). *Sunfields Europe*. Recuperado el 24 de setiembre de 2020, de Radiación, Geometría, Recorrido óptico, Irradiancia y HSP: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/energia-fotovoltaica-radiacion-geometria-recorrido-optico-irradiancia-y-hsp/>
- Aprende Ciencia y Tecnología. (03 de diciembre de 2019). *Aprende Ciencia y Tecnología*. Recuperado el 11 de octubre de 2020, de ¿Qué es y cómo se calculan el ángulo de acimut y el ángulo de inclinación en las instalaciones solares fotovoltaicas?: <https://aprendecienciaytecnologia.com/2019/12/03/que-es-y-como-se-calculan-el-angulo-de-acimut-y-el-angulo-de-inclinacion-en-las-instalaciones-solares-fotovoltaicas/>
- ARESEP. (2020). *Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos*. Recuperado el 15 de octubre de 2020, de Tarifas Eléctricas y Paneles de Análisis: https://aresep-my.sharepoint.com/:x:/g/personal/multimedia_aresep_go_cr/ET6L4k-QyphAgLpEwSYeNegBbLvOGM7mF0n2vZxId_SGeQ
- Banco Central de Costa Rica. (2020). *Expectativas de Inflación a 12 meses*. Recuperado el 3 de Noviembre de 2020, de Indicadores Económicos: <https://gee.bccr.fi.cr/IndicadoresEconomicos/Cuadros/frmVerCatCuadro.aspx?idioma=1&CodCuadro=%20761>
- Bellini, E. (5 de abril de 2018). *PV Magazine*. Recuperado el 12 de setiembre de 2020, de Costa Rica: la potencia fotovoltaica instalada alcanza unos 27 MW: <https://www.pv-magazine-latam.com/2018/04/05/costa-rica-la-potencia-fotovoltaica-instalada-alcanza-unos-27-mw/>
- Cantos Serrano, J. (2016). *Configuración de instalaciones solares fotovoltaicas*. Madrid: Ediciones Paraninfo.
- Centro Científico de la Unión Europea. (s.f.). *Comisión Europea*. Recuperado el octubre 31 de 2020, de PVGIS: <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>
- CNFL. (2020). *Compañía Nacional de Fuerza y Luz*. Recuperado el 12 de setiembre de 2020, de Generación Distribuida: <https://www.cnfl.go.cr/otros-servicios-os/generacion-distribuidas>

- Colmenar Santos, A., Borge Diez, D., Collado Fernández, E., & Castro Gil, M. A. (2015). *Generación distribuida, autoconsumo y redes inteligentes*. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Departamento de Análisis Estadístico de la Dirección de Planificación Institucional. (junio de 2019). *MEP*. Recuperado el 1 de setiembre de 2020, de <https://www.mep.go.cr/faq/donde-encuentro-listado-todas-instituciones-educativas-existent-pais>
- Despacho de Planificación Institucional y Coordinación Regional. (s.f.). *SIGMEP*. Recuperado el 30 de Octubre de 2020, de 00-Centros Educativos de Costa Rica: <https://sigmep.maps.arcgis.com/home/index.html>
- El Diario de la Energía. (13 de febrero de 2017). *El Diario de la Energía*. Recuperado el 13 de setiembre de 2020, de El Sol, nuestra fuente básica de Energía: <http://www.eldiariodelaenergia.com/el-sol-nuestra-fuente-basica-de-energia/609>
- Feldman, D., & Margolis, R. (2020). *Q4 2019/Q1 2020 Solar Industry Update*. National Renewable Energy Laboratory. Recuperado el 10 de octubre de 2020
- Fernández Barrera, M. (2010). *Energía solar: Electricidad Fotovoltaica*. Madrid: Liberfactory.
- Fu, R., Feldman, D., & Margolis, R. (2018). *U.S. Solar Photovoltaic System Cost Benchmark: Q1 2018*. Denver: National Renewable Energy Laboratory. Recuperado el 12 de octubre de 2020
- Grupo de Nuevas Actividades Profesionales. (2007). *Energía Solar Fotovoltaica*. (G. Sala Pano, Ed.) Madrid: Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación.
- Honsberg, C., & Bowden, S. (2019). *PVEducation*. Recuperado el 3 de octubre de 2020, de Fotovoltaica: <https://www.pveducation.org/es/fotovoltaica/introducción>
- Iluminet. (25 de octubre de 2016). ¿Cómo funcionan las celdas fotovoltaicas? *Iluminet Revista de Iluminación*. Recuperado el 11 de octubre de 2020, de <https://www.iluminet.com/funcionamiento-paneles-fotovoltaicos-energia-solar>
- Intendencia de Energía de ARESEP. (14 de octubre de 2019). *Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos*. Recuperado el 12 de noviembre de 2020, de Zonas de concesión por operador eléctrico: <https://aresep.go.cr/transparencia/datos-abiertos/zonas-concesion-operador-electrico>
- Normas APA. (2016). *Normas APA*. Recuperado el 24 de setiembre de 2020, de Tesis: <http://normasapa.net/formula-muestra-poblacion/>


- Orbegozo, C., & Arivilca, R. (2010). *Energía Solar Fotovoltaica. Manual técnico para instalaciones domiciliarias*. Green Energy Consultoría y Servicios SRL.
- Pareja Aparicio, M. (2010). *Radiación solar y su aprovechamiento energético*. Barcelona: MARCOMBO S.A.
- Pastor, A., Escobar, D., Mayoral, E., & Ruiz, F. (2015). *Competencia Matemática Nivel 2*. Madrid: Ediciones Paraninfo.
- Poggi Varaldo, H. M., Martínez Reyes, A., Pineda Cruz, J. A., & Caffarel Méndez, S. (2009). *Tecnologías Solar-Eólica-Hidrógeno-Pilas de Combustible como fuentes de energía*. Ecatepec de Morelos, Estado de México: Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec.
- Sanz González, M. (11 de setiembre de 2019). *ilpabogados*. Recuperado el 16 de octubre de 2020, de Cómo se mide la rentabilidad de una inversión (TIR y VAN): <https://www.ilpabogados.com/como-se-mide-la-rentabilidad-de-una-inversion-tir-y-van/>
- SCIJ. (14 de setiembre de 2015). *Sistema Costarricense de Información Jurídica*. Recuperado el agosto de 2020, de Reglamento generación distribuida para autoconsumo con fuentes renovables modelo de contratación medición neta sencilla: http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=80310&nValor3=101897&strTipM=TC
- SESLab. (2015). *Laboratorio de Sistemas Electrónicos para la Sostenibilidad*. Recuperado el 19 de setiembre de 2020, de Especialización en Sistemas Fotovoltaicos: <http://seslab.org/fotovoltaico/index.html>
- Sevilla Arias, A. (2017). *Economipedia, Haciendo Fácil la Economía*. Recuperado el 17 de octubre de 2020, de Tasa Interna de Retorno: <https://economipedia.com/definiciones/tasa-interna-de-retorno-tir.html>

APÉNDICES

Apéndice A. Ficha técnica del panel CanadianSolar HiKu5 Mono







HiKu5 Mono


MONO PERC MODULE
475 W ~ 500 W
CS3Y-475 | 480 | 485 | 490 | 495 | 500MS

Dimensions: 2252 X 1048 X 35 mm (88.7 X 41.3 X 1.38 in)
 Weight: 25.7 kg (56.7 lbs)
 Max. System Voltage: 1500 V (IEC/UL) or 1000 V (IEC/UL)

MORE POWER

- 500 W

Module power up to 500 W
Module efficiency up to 21.2 %
- \$

Up to 4.0 % lower LCOE
Up to 4.2 % lower system cost
- 

Comprehensive LID / LeTID mitigation technology, up to 50% lower degradation
- 

Compatible with mainstream trackers, cost effective product for utility power plant
- 

Better shading tolerance

MORE RELIABLE

- 

Minimizes micro-crack impacts
- 

Heavy snow load up to 5400 Pa,
enhanced wind load up to 2400 Pa*

* For detailed information, please refer to the Installation Manual.

12 Years

Enhanced Product Warranty on Materials and Workmanship*

25 Years

Linear Power Performance Warranty*

1st year power degradation no more than 2%
 Subsequent annual power degradation no more than 0.55%

*According to the applicable Canadian Solar Limited Warranty Statement.

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES*

ISO 9001:2015 / Quality management system
 ISO 14001:2015 / Standards for environmental management system
 OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

PRODUCT CERTIFICATES*

* As there are different certification requirements in different markets, please contact your local Canadian Solar sales representative for the specific certificates applicable to the products in the region in which the products are to be used.

CANADIAN SOLAR INC. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. No. 1 module supplier for quality and performance/price ratio in IHS Module Customer Insight Survey. As a leading PV project developer and manufacturer of solar modules with over 43 GW deployed around the world since 2001.

Apéndice B. Recibos Eléctricos Escuela Ascensión Esquivel Ibarra

Factura por Servicios Eléctricos

JUNTA EDUCACION ESCUELA ALAJUELA
ESCUELA ASCENSION ESQUIVEL IBARRA

NISE: 165349
19096991626
Costo Variable Combustible:
8566.72

Localidad	ALAJUELA	Servicio brindado		Cargos <small>Ver códigos al dorso</small>	
Localización	263103925000	Del	11/AGO/2019	ENERGIA	243,813.36
Nº Cliente	3008092877	Al	11/SEP/2019	21	0.27
Tarifa	PREFERENCIAL -	Nº Días	31	35	2,649.65
Nº Medidor	1331239	Lectura Medidor		ALUMBRADO	12,990.98
Constante	1.0	Anterior	120532		
Mes al cobro	SEPTIEMBRE	Actual	123350		
Saldo a favor		Consumo KWh			
Ruta	13	Mensual	2818		
Ciclo	3				
Agencia	ALAJUELA	Tel: 20029022		IMPUESTOS	31,695.74

Información de su interés

RECIBO DUPLICADO CANCELADO

Histórico Consumo

Mes-Año	KWH
03-2019	2155
04-2019	2935
05-2019	2125
06-2019	2723
07-2019	2061
08-2019	2347

TOTAL VENCE 291,150.00
11/OCT/2019

Comprobante de Cliente

Factura por Servicios Eléctricos

JUNTA EDUCACION ESCUELA ALAJUELA
ESCUELA ASCENSION ESQUIVEL IBARRA

NISE: 165349
19096991626
Costo Variable Combustible:
8566.72

NISE: 165349

Estimado cliente, si por error le fue entregado este comprobante, favor devolverlo al ICE, ya que es el único documento donde se comprueba la realización de su pago.

Gracias

JUNTA EDUCACION ESCUELA
13 3 PREFERENCIAL
Ruta Ciclo Tarifa

Nº CLIENTE	3008092877
LOCALIZACION	263103925000
IMPUESTOS	31,695.74
Tributo Bomberos	2,649.65
TOTAL	291,150.00
VENCE	11/OCT/2019
MES AL COBRO	SEPTIEMBRE

Comprobante de Empresa

Factura por Servicios Eléctricos

JUNTA EDUCACION ESCUELA ALAJUELA
ESCUELA ASCENSION ESQUIVEL IBARRA

NISE: 165349
19107855772
Costo Variable Combustible:
5806.3

Localidad	ALAJUELA	Servicio brindado		Cargos <small>Ver códigos al dorso</small>	
Localización	263103925000	Del	11/SEP/2019	ENERGIA	234,875.42
Nº Cliente	3008092877	Al	11/OCT/2019	35	2,621.40
Tarifa	PREFERENCIAL -	Nº Días	30	21	0.46-
Nº Medidor	1331239	Lectura Medidor		ALUMBRADO	12,649.84
Constante	1.0	Anterior	123350		
Mes al cobro	OCTUBRE	Actual	126094		
Saldo a favor	0.46	Consumo KWh			
Ruta	13	Mensual	2744		
Ciclo	3				
Agencia	ALAJUELA	Tel: 20029022		IMPUESTOS	30,533.80

Información de su interés

RECIBO DUPLICADO CANCELADO

Histórico Consumo

Mes-Año	KWH
04-2019	2935
05-2019	2125
06-2019	2723
07-2019	2061
08-2019	2347
09-2019	2818

TOTAL VENCE 280,680.00
11/NOV/2019

Comprobante de Cliente

Factura por Servicios Eléctricos

JUNTA EDUCACION ESCUELA ALAJUELA
ESCUELA ASCENSION ESQUIVEL IBARRA

NISE: 165349
19107855772
Costo Variable Combustible:
5806.3

NISE: 165349

Estimado cliente, si por error le fue entregado este comprobante, favor devolverlo al ICE, ya que es el único documento donde se comprueba la realización de su pago.

Gracias

JUNTA EDUCACION ESCUELA
13 3 PREFERENCIAL
Ruta Ciclo Tarifa

Nº CLIENTE	3008092877
LOCALIZACION	263103925000
IMPUESTOS	30,533.80
Tributo Bomberos	2,621.40
TOTAL	280,680.00
VENCE	11/NOV/2019
MES AL COBRO	OCTUBRE

Comprobante de Empresa

ice Factura por Servicios Eléctricos

JUNTA EDUCACION ESCUELA ALAJUELA
ESCUELA ASCENSION ESQUIVEL IBARRA

NISE: 165349
19110670006
Costo Variable Combustible:
1407.12

Localidad: ALAJUELA

Localización: 263103925000

Nº Cliente: 3008092877

Tarifa: PREFERENCIAL -

Nº Medidor: 1331239

Constante: 1.0

Mes al cobro: NOVIEMBRE

Saldo a favor: 0.68

Ruta: 13 Ciclo: 3

Agencia: ALAJUELA

Servicio brindado

Del: 11/OCT/2019

Al: 11/NOV/2019

Nº Días: 31

Lectura Medidor

Anterior: 126094

Actual: 128800

Consumo KW/h

Mensual: 2706

Tel: 20029022

Cargos
Ver códigos al dorso

ENERGÍA	227,304.00
35	2,572.50
21	0.68-
ALUMBRADO	12,474.66

IMP VENTAS: 29,549.52

TOTAL 271,900.00

VENCE 11/DIC/2019

Información de su interés

RECIBO DUPLICADO CANCELADO

Histórico Consumo

Mes-Año	KWH
05-2019	2125
06-2019	2723
07-2019	2061
08-2019	2347
09-2019	2818
10-2019	2744

Estimado cliente, si por error le fue entregado este comprobante, favor devolverlo al ICE, ya que es el único documento donde se comprueba la realización de su pago.

Gracias

JUNTA EDUCACION ESCUELA
13 3 PREFERENCIAL
Ruta Ciclo Tarifa

Nº CLIENTE: 3008092877

LOCALIZACION: 263103925000

IMP VENTAS: 29,549.52

Tributo Bomberos 2,572.50

TOTAL 271,900.00

VENCE 11/DIC/2019

MES AL COBRO NOVIEMBRE

Comprobante de Cliente

Autorizado mediante oficio número 11-97 del 12 de agosto de 1997

Comprobante de Empresa

Apéndice C. Bitácoras de Atención



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS AMÉRICAS
BITÁCORA DE TUTORÍAS MODALIDAD DE GRADUACIÓN

Fecha: 10/09/2020 Hora de inicio: 4:00 pm Hora de finalización: 4:30 pm

Lugar de la atención: WhatsApp Nombre del tutor: Alejandro Cervantes Umaña

Nombre del estudiante: Marlyn Bravo Medina

Objetivos de la sesión de trabajo

Coordinación de aspectos generales para trabajar durante las sesiones virtuales y actualización del estado de la investigación.

Acuerdos tomados

- Avanzar con la recolección de información sobre la ubicación geográfica de las escuelas y sus irradiaciones anuales.

- Clasificación de datos obtenidos de las escuelas para ir definiendo posibles escenarios.

Firma del estudiante

LUIS ALEJANDRO
CERVANTES
UMAÑA (FIRMA)

Firmado digitalmente por
LUIS ALEJANDRO
CERVANTES UMAÑA
(FIRMA)
Fecha: 2020.11.12 11:11:30
-06'00'

Firma del tutor



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS AMÉRICAS
BITÁCORA DE TUTORÍAS MODALIDAD DE GRADUACIÓN

Fecha: 23/09/2020 Hora de inicio: 2:30 pm Hora de finalización: 3:00 pm

Lugar de la atención: WhatsApp Nombre del tutor: Alejandro Cervantes Umaña

Nombre del estudiante: Marlyn Bravo Medina

Objetivos de la sesión de trabajo

Informe del avance en la recolección de ubicaciones e irradiaciones de las escuelas, y del comportamiento de los datos.

Acuerdos tomados

- Tener lista la recolección de datos de por lo menos 3 Regiones de las escuelas del país.

- Reunirnos el día 25 de setiembre en una sesión virtual para revisar la información recolectada.

Firma del estudiante

LUIS ALEJANDRO
CERVANTES
UMAÑA (FIRMA)

Firmado digitalmente
por LUIS ALEJANDRO
CERVANTES UMAÑA
(FIRMA)
Fecha: 2020.11.12
11:08:10 -06'00'

Firma del tutor



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS AMÉRICAS
BITÁCORA DE TUTORÍAS MODALIDAD DE GRADUACIÓN

Fecha: 25/09/2020 Hora de inicio: 5:00 pm Hora de finalización: 6:00 pm

Lugar de la atención: Virtual por Zoom Nombre del tutor: Alejandro Cervantes Umaña

Nombre del estudiante: Marlyn Bravo Medina

Objetivos de la sesión de trabajo

Revisión de la información recolectada de las ubicaciones e irradiaciones de las escuelas, y el comportamiento de los datos. Definición de cálculos a realizar, para encontrar algunas variables requeridas en el diseño de los paneles fotovoltaicos.

Acuerdos tomados

- Finalizar la recolección de las irradiaciones de las escuelas de las Regiones faltantes y organizar los datos para facilitar el análisis.

- Realizar los cálculos vistos en la reunión para encontrar las variables requeridas para el diseño de los paneles.

- Buscar información de los paneles más utilizados en el mercado y elegir uno.

Firma del estudiante

LUIS
ALEJANDRO
CERVANTES
UMAÑA (FIRMA)

Firmado digitalmente
por LUIS ALEJANDRO
CERVANTES UMAÑA
(FIRMA)
Fecha: 2020.11.12
11:10:33 -06'00'

Firma del tutor



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS AMÉRICAS

BITÁCORA DE TUTORÍAS MODALIDAD DE GRADUACIÓN

Fecha: 29/09/2020 Hora de inicio: 6:30 pm Hora de finalización: 7:00 pm

Lugar de la atención: Virtual por Zoom Nombre del tutor: Alejandro Cervantes Umaña

Nombre del estudiante: Marlyn Bravo Medina

Objetivos de la sesión de trabajo

Revisión del comportamiento que tuvieron algunos datos recolectados y aclaración de dudas sobre los cálculos a efectuar.

Acuerdos tomados

- Terminar la recolección de las irradiaciones de las escuelas de las Regiones faltantes y clasificar los datos para el análisis.

- Continuar con los cálculos vistos en la reunión para encontrar las variables requeridas para el diseño de los paneles.

- Presentar avances del documento escrito.

Firma del estudiante

LUIS ALEJANDRO
CERVANTES
UMAÑA (FIRMA)

Firmado digitalmente por
LUIS ALEJANDRO
CERVANTES UMAÑA
(FIRMA)
Fecha: 2020.11.12 11:09:34
-06'00'

Firma del tutor



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS AMÉRICAS

BITÁCORA DE TUTORÍAS MODALIDAD DE GRADUACIÓN

Fecha: 21/10/2020 Hora de inicio: 8:30 pm Hora de finalización: 9:30 pm

Lugar de la atención: Virtual por Zoom Nombre del tutor: Alejandro Cervantes Umaña

Nombre del estudiante: Marlyn Bravo Medina

Objetivos de la sesión de trabajo

Verificar el comportamiento de los datos de las irradiaciones para finalmente decidir los escenarios que se van a crear.

Acuerdos tomados

- Crear tablas resumen de los escenarios diseñados según las zonas de irradiación en cada Región Socioeconómica del país.

- Presentar avances del documento escrito.

Firma del estudiante

LUIS ALEJANDRO
CERVANTES
UMAÑA (FIRMA)

Firmado digitalmente por
LUIS ALEJANDRO
CERVANTES UMAÑA
(FIRMA)
Fecha: 2020.11.12 11:10:03
-06'00'

Firma del tutor



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS AMÉRICAS
BITÁCORA DE TUTORÍAS MODALIDAD DE GRADUACIÓN

Fecha: 22/10/2020 Hora de inicio: 7:30 pm Hora de finalización: 8:00 pm

Lugar de la atención: Virtual por Zoom Nombre del tutor: Alejandro Cervantes Umaña

Nombre del estudiante: Marlyn Bravo Medina

Objetivos de la sesión de trabajo

Aclaración de dudas sobre los escenarios que se definieron.

Acuerdos tomados

- Continuar con el diseño de las tablas resumen de los escenarios diseñados según las zonas de irradiación en cada Región Socioeconómica del país.

Firma del estudiante

LUIS ALEJANDRO
CERVANTES
UMAÑA (FIRMA)

Firmado digitalmente por
LUIS ALEJANDRO
CERVANTES UMAÑA
(FIRMA)
Fecha: 2020.11.12
11:09:05 -06'00'

Firma del tutor



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS AMÉRICAS
BITÁCORA DE TUTORÍAS MODALIDAD DE GRADUACIÓN

Fecha: 30/10/2020 Hora de inicio: 6:00 pm Hora de finalización: 7:00 pm

Lugar de la atención: Virtual por Zoom Nombre del tutor: Alejandro Cervantes Umaña

Nombre del estudiante: Marlyn Bravo Medina

Objetivos de la sesión de trabajo

Revisión de las tablas resumen de los escenarios diseñados según las zonas de irradiación en cada Región del País.

Acuerdos tomados

- Modificar algunos campos de las tablas resumen y agregar datos faltantes.

Firma del estudiante

**LUIS ALEJANDRO
CERVANTES
UMAÑA (FIRMA)**

Firmado digitalmente por
LUIS ALEJANDRO CERVANTES
UMAÑA (FIRMA)
Fecha: 2020.11.12 11:12:24
-06'00'

Firma del tutor



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS AMÉRICAS
BITÁCORA DE TUTORÍAS MODALIDAD DE GRADUACIÓN

Fecha: 31/10/2020 Hora de inicio: 4:00 pm Hora de finalización: 5:30 pm

Lugar de la atención: Virtual por Zoom Nombre del tutor: Alejandro Cervantes Umaña

Nombre del estudiante: Marlyn Bravo Medina

Objetivos de la sesión de trabajo

Iniciar los cálculos del análisis financiero y elegir los datos con los que se trabajará para presupuestar la inversión en los paneles fotovoltaicos.

Acuerdos tomados

- Terminar el análisis financiero de todas las Subzonas de las Regiones del país y tabular los datos para una mejor perspectiva de los resultados obtenidos.

Firma del estudiante

**LUIS ALEJANDRO
CERVANTES
UMAÑA (FIRMA)**

Firma del tutor

Firmado digitalmente por
LUIS ALEJANDRO
CERVANTES UMAÑA
(FIRMA)
Fecha: 2020.11.12
11:13:37 -06'00'



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS AMÉRICAS
BITÁCORA DE TUTORÍAS MODALIDAD DE GRADUACIÓN

Fecha: 1/11/2020 Hora de inicio: 5:00 pm Hora de finalización: 6:00 pm

Lugar de la atención: Virtual por Zoom Nombre del tutor: Alejandro Cervantes Umaña

Nombre del estudiante: Marlyn Bravo Medina

Objetivos de la sesión de trabajo

Revisión del análisis financiero, verificación de la información y definición de la orientación del análisis de resultados y las conclusiones.

Acuerdos tomados

- Crear tablas y gráficos que resuman los resultados obtenidos del análisis financiero.

- Escribir el análisis de resultados y las conclusiones del proyecto.

Firma del estudiante

LUIS ALEJANDRO
CERVANTES
UMAÑA (FIRMA)

Firma del tutor

Firmado digitalmente por
LUIS ALEJANDRO
CERVANTES UMAÑA
(FIRMA)
Fecha: 2020.11.12
11:11:58 -06'00'



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS AMÉRICAS
BITÁCORA DE TUTORÍAS MODALIDAD DE GRADUACIÓN

Fecha: 1/11/2020 Hora de inicio: 5:00 pm Hora de finalización: 6:00 pm

Lugar de la atención: Virtual por Zoom Nombre del tutor: Alejandro Cervantes Umaña

Nombre del estudiante: Marlyn Bravo Medina

Objetivos de la sesión de trabajo

Revisión del análisis financiero, verificación de la información y definición de la orientación del análisis de resultados y las conclusiones.

Acuerdos tomados

- Crear tablas y gráficos que resuman los resultados obtenidos del análisis financiero.

- Escribir el análisis de resultados y las conclusiones del proyecto.

Firma del estudiante

LUIS ALEJANDRO
CERVANTES
UMAÑA (FIRMA)

Firmado digitalmente por
LUIS ALEJANDRO
CERVANTES UMAÑA
(FIRMA)
Fecha: 2020.11.12
11:11:58 -06'00'

Firma del tutor